

CY CERGY PARIS UNIVERSITÉ

ED n° 284 DSH (Droit et Sciences Humaines)

Laboratoire PLACES « laboratoire de géographie et d'aménagement »

Approche géomatique des dynamiques d'ornementation des grottes de Marsoulas et Chauvet

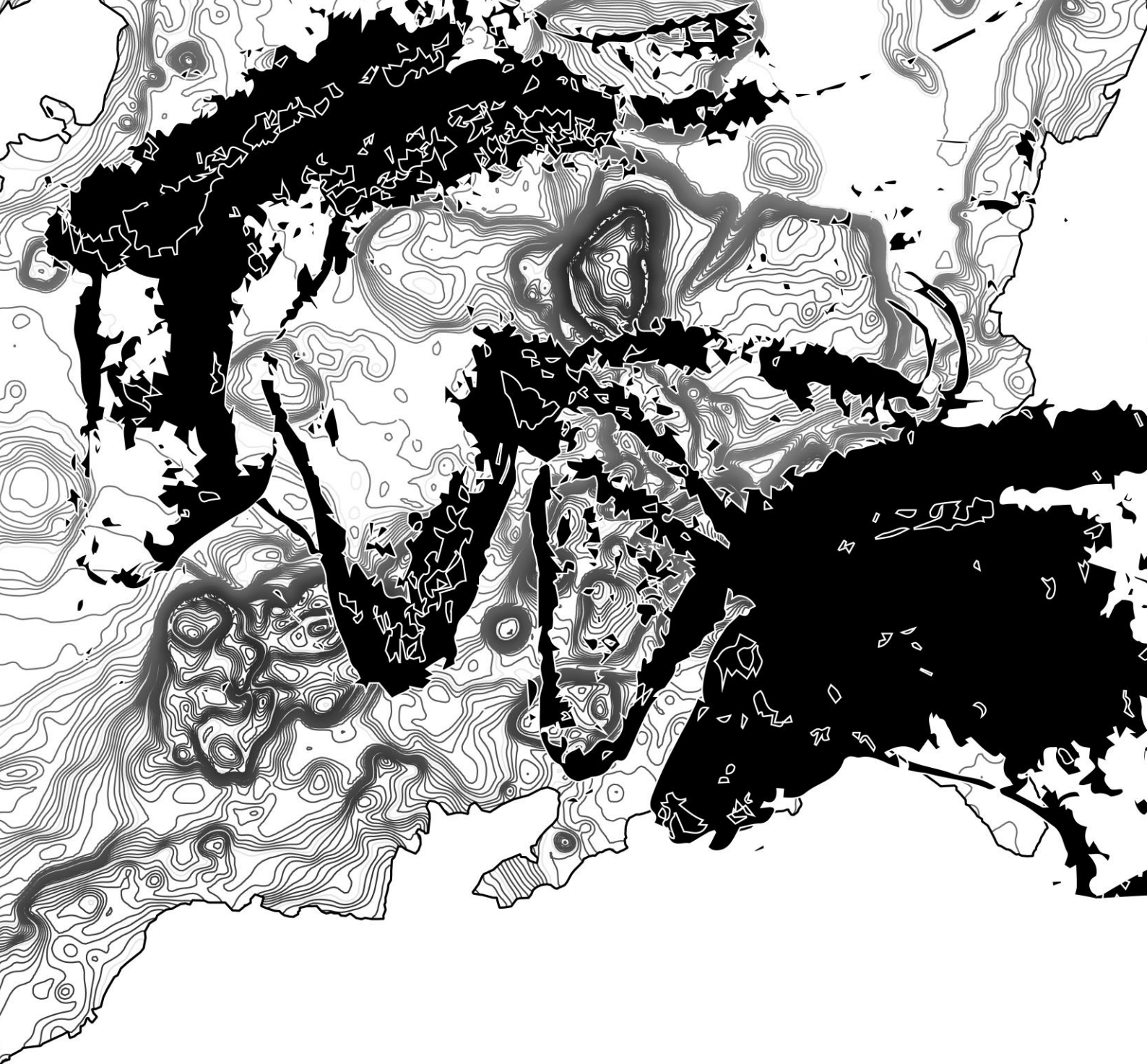
Volume 1

Thèse pour l'obtention du Doctorat de CY Cergy Paris Université
Discipline : Géographie et Géomatique / Archéologie préhistorique

Présentée par
Laura Louman

Jury composé de :

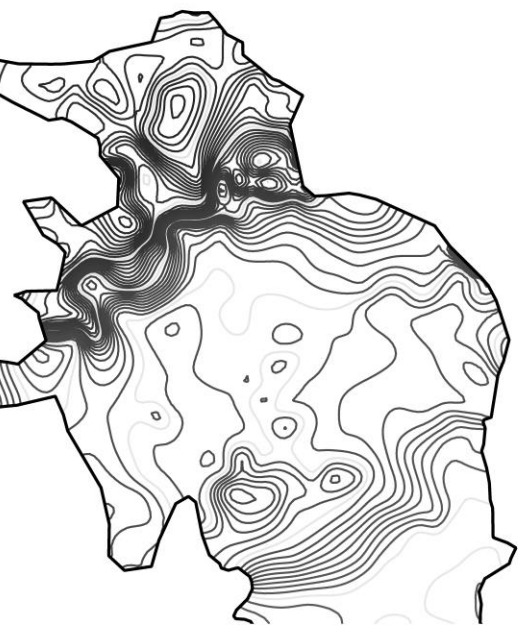
- Paule-Annick DAVOINE**, Professeure des Universités, Université Grenoble-Alpes, rapporteuse.
- Olivia RIVERO**, Maître de conférences, Universidad de Salamanca, rapporteuse.
- Isabella DAMIANI**, Maître de conférences, Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, examinatrice.
- Thierry JOLIVEAU**, Professeur des Universités, Université de Saint-Etienne, examinateur.
- Geneviève PINÇON**, Directrice du Centre national de préhistoire, ministère de la Culture (Laboratoire TRACES), examinatrice.
- Didier DESPONDS**, Professeur des Universités, CY Cergy-Paris Université, directeur.
- Carole FRITZ**, Directrice de recherche CNRS (Laboratoire CREAP-TRACES), co-directrice.



**Approche géomatique des dynamiques
d'ornementation des grottes ornées
de Marsoulas et Chauvet**

Volume 1

Laura Louman



REMERCIEMENTS

La thèse de doctorat n'est pas une finalité, mais un passeport pour avancer vers de nouveaux horizons. Aussi je tiens à remercier l'ensemble des personnes qui m'ont guidée, éclairée et soutenue pour progresser dans la bonne direction.

J'aimerais tout d'abord remercier mon directeur de thèse, Didier Desponds, qui a cru dès le début à mon projet et m'a aidée à le concrétiser. L'intérêt et l'enthousiasme qu'il a portés à mon sujet de recherche ainsi que son engagement, sa disponibilité et ses conseils avisés ont été d'une aide précieuse.

Je remercie également Carole Fritz, ma directrice de thèse, qui me soutient depuis de nombreuses années dans mon parcours de recherche, de mes débuts timides en art paléolithique au Mirail jusqu'à mon intégration dans l'équipe de la grotte Chauvet. Je la remercie infiniment pour la confiance, le soutien, et l'amitié qu'elle m'apporte depuis toutes ces années.

Je tiens à remercier l'ensemble des membres du jury, Paule-Annick Davoine, Olivia Rivero d'avoir accepté la relecture de ce travail et d'en être rapporteuses. Je remercie également Isabella Damiani, Thierry Joliveau qui ont accepté d'examiner ce travail de recherche. Mes remerciements vont aussi à Geneviève Pinçon, responsable du centre national de Préhistoire qui a rendu ce projet possible. Convaincue par les apports des SIG et de la géographie aux grottes ornées, son appui, son écoute et ses observations m'ont aidée à faire évoluer mon travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement Stéphanie Touron et Milena Frouin, du comité de suivi Patrima, qui m'ont accompagnée et encouragée depuis le début de thèse. Je les remercie infiniment pour leur présence et la bienveillance qu'elles m'ont témoignées durant cette recherche. J'associe à ces remerciements Damien Masson, ses remarques précises, justes ont toujours été enrichissantes dans le cadre de mes recherches.

Ce travail n'aurait pas vu le jour sans le soutien matériel de la fondation des Sciences du Patrimoine. Aussi je remercie Anne-Julie Etter et Emmanuel Poirault pour leur appui. Je tiens, par ailleurs, à souligner le cadre stimulant, important, apporté par la fondation dans les projets patrimoniaux.

Mes remerciements vont également à Elizabeth Auclair et aux membres du laboratoire MRTE/PLACES qui ont su créer un cadre d'accueil, très motivant, pour les doctorants. Je remercie également les membres du laboratoire qui m'ont offert

l'opportunité de donner des cours, qui ont par ailleurs rendu les échanges extrêmement efficaces durant les présentations de laboratoire aussi bien que pendant les pauses repas.

J'adresse aussi toute ma gratitude aux personnes qui ont accepté de me consacrer de leur temps pour partager leurs connaissances. Merci à Oscar Fuentes pour ses relectures et ses conseils pertinents à la fin de la thèse qui m'ont aidée à préciser mon propos. Merci à Maxime Suing, pour ses éclairages techniques et la passation du SIG Chauvet ; à Ian Smolinski qui m'a ouvert à la sociologie de la traduction et à Corinne Guilloteau, pour ses éclaircissements sur la chrono-chorématique, à Tours. Merci aussi à Gérald Foliot, d'Huma-Num pour m'avoir appuyé dans le déploiement de SIG Chauvet ; à Gilles Tosello pour les nombreux échanges. Son savoir et son expertise en art pariétal ont été formateurs. Merci à Mark Willis qui m'a épaulé à plusieurs reprises grâce à ses compétences en photogrammétrie et ses superbes modèles 3D.

Je remercie également les membres des structures d'accueil, qui m'ont reçue, le Laboratoire de recherche des Monuments historiques ou encore le Centre National de Préhistoire, qui m'ont accordé du temps et des conditions de travail privilégiées pour mes recherches.

Mes pensées vont bien sûr aux membres de l'équipe Chauvet. Je les remercie immensément pour leur accueil qui m'a permis de m'intégrer. Catherine Ferrier, Jean-Claude Blanc, pour leur disponibilité, leur grande gentillesse ; Bernard Gély pour m'avoir transmis tout son savoir sur la grotte Chauvet. Aux archéologues des parois, Oscar Fuentes, Olivia Rivero, Diego Garate, Gilles Tosello pour leur transfert d'apprentissage et les discussions formatives. Merci à l'équipe des faunistes, Jean-Baptiste Fourvel, Philippe Fosse, Michel Philippe, Nicolas Lateur, Nicolas Frerebeau, pour leur coopération et les temps de rigolades. Sans oublier mes alliées du numérique, Thomas Sagory, Antoine Laurent, François Baleux qui m'ont aidée à acquérir les données et m'ont apporté de nombreux conseils.

En cette fin de thèse, j'ai une pensée toute particulière pour mes collègues d'Archaïos et pour le désert d'Arabie qui m'ont amenée à sortir de la grotte.

Une profonde pensée aux thésards CYissois, Fanny, Victor, Claire, Chloé, Marie-Léa, Dimitra, pour les bons moments passés ensemble qui nous permettaient de décompresser.

Enfin mes remerciements vont à mes proches pour leur soutien inconditionnel. Je tiens à remercier mes parents, qui m'ont laissé poursuivre les études que j'aimais et ont cru en moi malgré les coups durs. Je remercie ma mère pour l'ensemble des relectures, une thèse et 4 mémoires, qui se comptent à présent en milliers de pages. Je remercie aussi mes grands-parents qui m'ont toujours encouragée malgré mon manque de disponibilité.

Ces remerciements ne peuvent s'achever sans une pensée pour les amis qui ont eu une grande importance dans la réalisation de ce travail. Ils ont subi mes doutes, ont partagé mes angoisses et sont restés attentifs à mes recherches. Steph et Lolo, toujours présents qui m'ont incité à aller de l'avant, Let's gooooo ! Mes baFr, Manu, Léa, Antho et Lukas, pour les fous rires qui m'ont permis de dédramatiser. Merci aussi aux zmamésiens, Vincent, Aude, Gaëtan, Aélis, Joël, Clément pour leur accompagnement depuis le début de mes études. Une immense pensée aussi à Laura, Max, David et Flora qui ont su trouver les mots réconfortants pour m'encourager.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----|
| REMERCIEMENTS | 5 |
| SOMMAIRE | 11 |
| RÉSUMÉ | 15 |
| INTRODUCTION | 21 |
| 1.- L'ORGANISATION SPATIALE EN GROTTES ORNÉES : DES CONCEPTS AUX MOYENS D'ÉTUDES..... | 31 |
| 1.1. - INTRODUCTION | 33 |
| 1.2. - L'ART PARIÉTAL, LA GROTTTE ET SON ORGANISATION | 34 |
| 1.3. - VISUALISER ET RESTITUER L'ORGANISATION SPATIALE : LES OUTILS | 40 |
| 1.4. - CONCLUSION..... | 52 |
| 2.- DE L'ACQUISITION À L'ORGANISATION, GÉRER LES DONNÉES SPATIALES : L'EXEMPLE DE LA GROTTTE CHAUVET-PONT-D'ARC (ARDÈCHE, FRANCE)..... | 53 |
| 2.1. - INTRODUCTION..... | 55 |
| 2.2. - UN CONTEXTE DE RECHERCHE : LA GROTTTE CHAUVET | 55 |
| 2.3. - CADRE METHODOLOGIQUE | 64 |
| 2.4. - APPLICATIONS A LA RECHERCHE EN COURS | 76 |
| 2.5. - METHODE D'ENQUETE POUR EVALUER LES ATTENTES ET LE DISPOSITIF EN PRESENCE | 80 |
| 2.6. - ANALYSE DU DISPOSITIF SOCIOTECHNIQUE PAR LA SOCIOLOGIE DE LA TRADUCTION | 84 |
| 2.7. - IMPACT, CHANGEMENTS ET USAGES DU GEOWEB POUR L'EQUIPE DE RECHERCHE | 100 |
| 2.8. - CONCLUSION | 113 |
| 3.- RECONSTRUIRE LES DYNAMIQUES ORNEMENTALES D'UNE GROTTTE ORNÉE PAR L'INFORMATION SPATIALE : L'EXEMPLE DE LA GROTTTE DE MARSOULAS (HAUTE-GARONNE, FRANCE) | 115 |
| 3.1. - INTRODUCTION | 117 |
| 3.2. - LA GROTTTE DE MARSOULAS : ENJEUX ET APPLICATIONS | 118 |
| 3.3. - CONSTRUIRE L'INFORMATION SPATIALE : LES SOURCES DISPONIBLES | 129 |
| 3.4. - CADRE METHODOLOGIQUE DE L'ELABORATION D'UN SIG AU PASSAGE D'UN SIG 3D..... | 135 |
| 3.5. - LE SIG 3D APPLIQUE A L'ANALYSE A L'ORGANISATION GRAPHIQUE | 150 |
| 3.6. - MODELISER LA TEMPORALITE RELATIVE SUR UNE PAROI ORNEE | 175 |
| 3.7. - RELATION SPATIALE ENTRE SOL ET PAROI..... | 193 |
| 3.8. - APPORTS DES SIG PORTES A L'ETUDE CHRONOSPATIALE DE L'ART PARIÉTAL | 211 |
| 3.9. - CONCLUSION | 215 |
| 4.- DE LA TRACE À LA PRATIQUE SPATIALE : UNE ANALYSE DES MARQUES PARIÉTALES DE LA GROTTTE CHAUVET (ARDÈCHE, FRANCE) | 219 |
| 4.1. - INTRODUCTION | 221 |

| | |
|---|-----|
| 4.2. - LES TRACES DE COLORANT : UN CADRE DE DEFINITION | 222 |
| 4.3. - LES TRACES DE COLORANT DE LA GROTTTE CHAUVET : DU CONTEXTE AUX MOYENS D'ETUDES | 229 |
| 4.4. - PRESENTATION GENERALE DU CORPUS DU TRACES | 242 |
| 4.5. - LA CONTRAINTE SPATIALE : UNE LECTURE TOPOGRAPHIQUE INEDITE | 264 |
| 4.6. - MODELISER LE LIEU : LA CONTRAINTE SPATIALE PAR L'ANALYSE MULTICRITERE | 269 |
| 4.7. - RESULTATS : L'OBJET DANS LE LIEU, LES MARQUES DE COLORANT ET ENTITES AU REGARD DE LA CONTRAINTE SPATIALE..... | 285 |
| 4.8. - INTERPRETATIONS FONCTIONNELLES DES TRACES ROUGES A CHAUVET : DES HYPOTHESES REDISCUTEES..... | 288 |
| 4.9. - CONCLUSION | 301 |
| 5.- CONCLUSION..... | 305 |
| 5.2. - CONSTRUIRE ET SPATIALISER COLLECTIVEMENT LA CONNAISSANCE..... | 307 |
| 5.3. - UN MOYEN D'ANALYSE DE L'ORGANISATION SPATIALE DES GROTTES | 308 |
| 5.4. - LA GEOMATIQUE : UNE PASSERELLE METHODOLOGIQUE DE L'ART PARIETAL A D'AUTRES DISCIPLINES..... | 309 |
| 5.5. - UNE CHAINE OPERATOIRE DU RAISONNEMENT SPATIAL EN GROTTTE..... | 311 |
| 5.6. - LIMITES ET PERSPECTIVES | 312 |
| GLOSSAIRE | 317 |
| BIBLIOGRAPHIE | 323 |
| TABLE DES FIGURES..... | 361 |
| TABLE DES GRAPHIQUES | 367 |
| TABLE DES CARTES..... | 369 |
| TABLE DES TABLEAUX | 371 |
| TABLE DES MATIÈRES | 373 |

RÉSUMÉ

Mots clefs : grotte ornée, géomatique, art pariétal, SIG

Les approches intégrées et interdisciplinaires sont aujourd'hui privilégiées dans l'étude des grottes ornées. La place des outils numériques devient alors stratégique compte tenu de la diversité et quantité d'informations collectées. Alors que les outils 3D sont omniprésents depuis une vingtaine d'années dans l'étude des grottes, les systèmes d'information géographique restent peu mobilisés.

Pourtant la grotte ornée est un espace éminemment géographique : l'art pariétal est le résultat d'une interaction entre l'humain et la grotte. C'est un espace qui se prête à une lecture spatiale de l'information.

Compte tenu de l'ensemble des propriétés spatiales présentées par les grottes ornées, la géomatique peut-elle être une véritable voie de recherche permettant de reconsidérer l'étude de ces espaces ? Quel regard offre-t-elle à l'étude des grottes ornées ? Dans quelles mesures l'usage de ces outils spatiaux pourrait-il s'intégrer aux problématiques des grottes ornées malgré les spécificités posées (espace souterrain, objet 3D, recherche collective, données anciennes).

L'objectif de cette recherche est d'utiliser la géomatique comme un cadre méthodologique et conceptuel pour répondre aux multiples questionnements rencontrés dans des contextes pariétaux. Cette thèse développe trois axes de recherche : la gestion organisationnelle de l'information spatiale, la modélisation chronospatiale et l'interaction spatiale humain/milieu. Ces trois axes s'appuient sur deux grottes ornées : la grotte de Marsoulas (Haute-Garonne) et la grotte Chauvet (Ardèche).

Le premier axe de recherche évalue les pratiques web cartographiques au sein d'une équipe de recherche pluridisciplinaire. Des solutions sont proposées pour faire évoluer le dispositif et améliorer la collecte d'informations. L'utilisation du webSIG est envisagée comme un moyen de replacer le chercheur au cœur du dispositif.

Dans un deuxième axe, la modélisation chronospatiale est utilisée comme moyen pour visualiser les différentes phases de l'occupation. L'adaptation de méthodes en SIG 3D et SIG 2,5D vise à analyser le processus de mise en place du dispositif pariétal.

Le troisième axe s'intéresse aux pratiques et comportements spatiaux. L'analyse spatiale et l'analyse multicritère sont employées pour étudier les traces de colorant en relation avec le dispositif orné et la topographie générale. Les résultats obtenus permettent de discuter des hypothèses fonctionnelles attribuées généralement à ces traces.

Les apports de cette étude confirment l'intérêt de la pratique cartographique et la géomatique comme un moyen de formalisation du raisonnement archéologique. L'utilisation des SIG offre un véritable cadre exploratoire non invasif pour analyser, tester des hypothèses et mobiliser toute l'information collectée sur le terrain. Les résultats concernent aussi bien des solutions organisationnelles pour la gestion et le traitement de l'information jusqu'à une considération de la pratique spatiale de l'espace orné durant le Paléolithique supérieur. Dans un cadre plus large, ce travail questionne le traitement de l'information spatiale comme spécialité et objet d'étude en archéologie.

Key words: decorated cave, geomatics, parietal art, GIS

Nowadays, integrated and interdisciplinary approaches are favoured in the study of decorated caves. Digital tools became strategic considering the diversity and quantity of information that are being collected. While 3D tools have been omnipresent for the last twenty years in the study of caves, the use of geographic information systems remained more confidential.

Yet the decorated cave is an eminently geographical space: cave art is the result of an interaction between humans and the cave. It is a space that lends itself to a spatial reading of information.

Considering all the spatial properties inherent to decorated caves, can geomatics be a new tool allowing us to reconsider the study of these spaces? What perspective does the use of GIS offer in the study of decorated caves? To which extent could the use of these spatial tools be integrated into the study of decorated caves despite the specificities of the subject (underground space, 3D object, collective research, old data).

The objective of this research is to use geomatics as a methodological and conceptual framework to answer multiple questions raised by the study of cave. This thesis develops three axes of research: organizational management of spatial information, chronospatial modeling and spatial interactions between humans and the environment. These three axes are developed on the study of two caves, the Marsoulas cave (Haute-Garonne) and the Chauvet cave (Ardèche).

The first axis of research evaluates the use of webmapping within a multidisciplinary research team. Solutions are suggested in order to adapt the system and improve the collection of information. WebGIS could therefore be used as a way to bring back (or to involve) the researcher into the process of information collection.

The second axis, chronospatial modeling, is a tool that helps visualize the different phases of occupation using 3D and 2,5D GIS process that have been adapted to generate the parietal toolset.

The third axis focuses on spatial practices and behaviors. Spatial analysis and multi-criteria analysis are used to study dye marks in relation to both the ornamental device and the general topography. The results of this method bring new elements to the discussion on the functional assumptions generally attributed to these marks.

The contributions of this study confirm the interest of cartographic practice and geomatics as a mean of formalizing archaeological reasoning. The use of GIS offers a real non-invasive exploratory framework to analyze, test hypothesis and mobilize all the information collected in the field. The results range from organizational solutions for the management and processing of information to a consideration of the spatial practice of the decorated space during the Upper Paleolithic. On a larger scales, this work questions the processing of spatial information as a sub discipline and object of study in archaeology.

INTRODUCTION

Les **méthodes et outils du numérique** prennent, depuis une vingtaine d'années, une place de plus en plus **importante dans les pratiques de recherche archéologique**. Ils contribuent à visualiser, à modéliser, à analyser des contextes, mais aussi à pérenniser des acquisitions, à diffuser et à construire des connaissances (Huggett, 2015).

Dans ce contexte, l'engouement pour ces outils est croissant, les archéologues sont amenés à **acquérir et à se tourner vers de nouvelles compétences**. Les acteurs, de la médiation culturelle, de la conservation et plus largement la recherche en **grottes ornées paléolithiques** se sont plus que jamais emparés de cette vague du numérique (Bourdier et al., 2008 ; Corchón et al., 2009 ; Fritz, et al., 2010 ; Lacanette et Malaurent, 2010). Après des essais à la grotte de Vielmouly en 1994, la grotte Cosquer bénéficiera la même année de la première opération de lasergrammétrie (Paramythioti, 1996 ; Thibault, 2001 ; Aujoulat et al., 2005a). Elle sera suivie par d'autres exemples de levé topographique 3D : grotte Chauvet en 1997 puis au Roc-aux-Sorciers en 1999 (Pinçon, 2004 ; Aujoulat et al., 2005a ; Pinçon et al., 2014). Par la dématérialisation, la grotte devient accessible au grand public, mais également aux archéologues hors des missions de terrain. Les dispositifs 3D donnent accès à de nouveaux supports de travail, qui se matérialisent par un volume très important de données collectées, ouvrant de nouvelles perspectives de traitement.

Si les modèles 3D s'imposent progressivement dans l'étude des grottes ornées, les outils de **traitement de l'information spatiale restent sous-exploités**, ils sont pourtant appliqués depuis trois décennies dans la recherche en archéologie¹ (Allen et al., 1990 ; Lock and Stančič, 1995). **Ces outils sont perçus, dès le début de leur utilisation, comme de super technologies** « *the most powerful technological tool to be applied in archaeology since the invention of radiocarbon dating* » (Wescott & Brandon, 2000, p. 135). En effet, ils offrent de nombreux avantages : ils s'associent à la chaîne opératoire du raisonnement et du traitement de la donnée archéologique ; ils se positionnent en continuité des techniques d'enregistrement facilitant la collecte de l'information sur un site ou un territoire (réaliser des inventaires, suivre l'état de la documentation) et permettant d'effectuer des analyses (analyses spatiales de distribution, analyses de terrain, statistiques spatiales, modèles prédictifs, analyses de visibilité, analyses de coûts-distance) ; enfin ils simplifient la production cartographique – documents fortement présents dans les études

¹ La date de 1990 est souvent retenue suite à la publication d'« *Interpreting Space: Gis and archaeology* », le premier ouvrage collectif méthodologique d'application des SIG à l'archéologie. Il marque le passage de travaux pionniers isolés à un recours plus important (Simoni et Clavel-Lévêque, 1999).

archéologiques (Wheatley and Gillings, 2002 ; Barge et al., 2004 ; Rodier et al., 2011). Dès les années 90, des travaux anglo-saxons parlent d'une véritable « science de l'espace » (Goodchild, 1992 ; Reitsma, 2013). Ces outils sont qualifiés de « GIScience », ils entrent dans le champ de l'« *Archaeological Information Science* » et s'intègrent dans les problématiques archéologiques (Gillings, 2011 ; 2012 ; Llobera, 2011 ; 2012 ; Huggett, 2015). Leurs usages dépassent largement le cadre de l'archéologie spatiale. Ils contribuent à représenter des processus imperceptibles du monde réel ; ils aident à modéliser des phénomènes et des réalités potentielles dans le but d'ouvrir des perspectives ou de livrer différents scénarios interprétatifs (Lock and Pouncett, 2017 ; Richards-Rissetto, 2017).

Il faudra attendre la fin des années 2000 pour observer les premiers exemples d'application dans l'étude des grottes (Moyes, 2001 ; 2002 ; Aujoulat et Boche, 2007 ; Boche et al., 2010 ; 2014 ; Jiménez-Sánchez et al., 2011 ; Burens et al., 2013 ; Ployon et al., 2020 ; Intxaurbe et al., 2020 ; 2021). Malgré ce nombre conséquent de cas d'études, les SIG restent peu adaptés à l'étude des parois ornées et des manifestations graphiques. La question de l'adaptabilité des SIG à la morphologie de la grotte reste problématique (Wienhold and Robinson, 2017). La grotte est par essence **un volume 3D** qui présente de nombreuses irrégularités de surface tandis que les SIG offrent une vision aérienne en 2D du sol et sont peu adaptés à la visualisation des données positionnées en hauteur (sur les parois et sur les plafonds). Par ailleurs, les grottes se situent sous la surface de la Terre et la mise en place d'un SIG implique un relevé topographique de bonne qualité ou une opération de lasergrammétrie. De ce fait, le 3D a trouvé une place plus importante dans l'étude des grottes à la différence des systèmes d'information géographique qui sont techniquement limités.

Pourtant, la grotte ornée est un espace éminemment géographique qui se prête à une lecture spatiale de l'information. Elle est le produit d'une **interaction entre l'humain et l'environnement**. C'est un espace que l'on peut qualifier de **complexe** à comprendre pour plusieurs raisons.

C'est tout d'abord sa configuration singulière qui présente des difficultés d'étude. C'est un espace souterrain, qui s'organise souvent en réseau et qui peut s'étendre de quelques mètres à plusieurs kilomètres. La grotte peut se présenter comme une succession d'espaces sans lumière, aux passages étroits, aux tailles et aux morphologies variables, mais aussi avec des salles vastes, proches de la lumière naturelle. L'information contenue dans ces espaces se déploie aussi bien sur les parois, que sur le sol ou le plafond.

Ensuite les données livrées sont de nature variée. Ce sont à la fois des objets archéologiques, des états de conservation, des prélèvements et des datations qui

sont enregistrés. La recherche archéologique des sols et des parois implique l'action conjointe des chercheurs de spécialités différentes. Et ce sont de nombreux résultats, à intégrer et à croiser au profit d'une compréhension globale du passé de la grotte.

Les grottes ont également connu un passé d'investigation important durant la fin du XIXe et au début du XXe. Les contextes de reprises d'études sont fréquents. Les premiers fouilleurs ont produit – ou non – de la documentation et fouillé des contextes archéologiques. Il existe donc un certain nombre d'enjeux à comprendre les opérations passées et à remobiliser cette documentation. Ces sources diverses – plans topographiques, relevés, photographies – doivent alors être associées avec les acquisitions numériques récentes ce qui pose des difficultés méthodologiques quant à la compatibilité des sources.

Par ailleurs, l'étude des ensembles pariétaux est un processus très long qui s'étale sur plusieurs années. Seules quelques équipes travaillent sur ces ensembles en France et les mesures de conservation encadrent leur accès à quelques semaines par an. La sauvegarde et le suivi de données collectées sont essentiels et reposent alors sur des outils numériques et des accès dématérialisés à la grotte.

Enfin la grotte ornée, par sa fréquentation humaine ancienne est un espace fragile. Les informations qui nous parviennent sont fragmentaires, altérées et nous livrent une image tronquée du passé (Olivier, 2008). Cet état de conservation est par ailleurs variable d'une grotte à l'autre et peut également changer au sein d'une même grotte.

Ainsi, les **questionnements scientifiques en grotte ornée** qu'il soit **d'ordre technique, organisationnel, opérationnel, méthodologique**, mais également **conceptuel**, sont étroitement **liés à l'espace et à la nature de celui-ci**. Comment enregistrer efficacement les observations de terrain ? Comment gérer la quantité d'informations produites par une équipe de recherche pluridisciplinaire ? Comment faire dialoguer, sur un même niveau de connaissance, les acquisitions du début du siècle et les acquisitions numériques actuelles ? Comment étudier au mieux cette interaction entre les humains ayant fréquenté la grotte et cette dernière avec des données aussi géographiquement différentes et distancées ? Quelles informations l'étude de la répartition des données peut-elle nous livrer sur l'occupation de la grotte par les populations paléolithiques ?

L'ensemble de ces interrogations soulève alors une question centrale : **les grottes ornées présentent des propriétés spatiales, de ce fait, la géomatique peut-elle être une voie de recherche intégrée à l'étude de ces espaces ?** Quel regard offre-t-elle à l'étude des grottes ornées ? Comment ces outils spatiaux pourraient-ils s'intégrer aux problématiques des grottes ornées malgré les spécificités posées (espace souterrain, objet 3D, recherche collective, données anciennes).

L'enjeu de cette recherche est de proposer une **démarche interdisciplinaire** entre l'archéologie préhistorique des grottes ornées et la géomatique. La relation entre ces deux champs disciplinaires seront transversalement questionnées. Cette thèse va chercher à démontrer en quoi la géomatique et les SIG peuvent être un appui à la recherche.

Nous envisageons une « approche géomatique » avec les SIG comme outils de référence. Le mot français géomatique apparaît en 1968² d'un mot-valise croisant la « géographie » et « l'informatique ». Selon les publications ou les sources, la géomatique répond à des définitions différentes : un « champ d'activités » (Vanara, 2014) ; un « champ de pratiques et savoirs » (Joliveau, 2004) ; un « ensemble disciplinaire » (Paegelow, 2004) ; un procédé « l'analyse et le retraitement des données spatiales assistés par ordinateur³ » ; ou une « utilisation des technologies numériques » (Genevois, 2016). Mais tous ces termes s'accordent sur un point : la place centrale du SIG dans la pratique. Nous utiliserons la définition de Thierry Joliveau (Joliveau, 2004), **la géomatique comme un « champ de pratiques et de savoirs »**, car la géomatique ne peut être réduite aux SIG, elle intègre d'autres outils comme la photogrammétrie, le LIDAR ou la télédétection. Elle implique aussi d'autres domaines : les statistiques spatiales, la cartographie, la sémiologie graphique, les SGBD⁴ voire l'apprentissage de langages informatiques. La géomatique rassemble des compétences, une expérience et une manière de concevoir, traiter, diffuser l'information. Bien que l'accent soit mis sur « le savoir-faire », la géomatique nécessite une connaissance avancée de la donnée spatiale. Son aspect opérationnel et interdisciplinaire fait qu'elle trouve une place importante dans de multiples domaines professionnels⁵. Dans l'imaginaire collectif de recherche académique, elle

² Terme inventé par le géomètre-topographe Bernard Debuisson.

³ Géoinformation, définition du site du gouvernement dans le développement durable [<http://www.geoinformations.developpement-durable.gouv.fr/generalites-definitions-glossaire-r303.html>]

⁴ Systèmes de gestion de base de données, logiciel permettant de stocker et manipuler les informations de bases de données.

⁵ Dans une étude réalisée en 2003 par CNIL Afigéo sur 1142 répondants sur les métiers, les domaines de recherche suivants ont été énoncés : Cartographie, infographie édition, production de données, environnement, aménagement urbanisme, information développement, consultant SIG, information de service, topographie formation démographie, automobile, défense, autres, architectures, risques, archéologie, télécommunications, réseaux, météorologie, santé, hydrologie, transport, énergie, agriculture, géologie foncière, recherche, forêt, géomarketing. Après 18 ans, on est en mesure de penser que la liste de

reste fréquemment associée à des compétences techniques plus qu'à une véritable voie de réflexion⁶, cela tient à sa transversalité.

« *Les recherches en géomatique contribuent à proposer de nouvelles méthodes et à inventer de nouvelles techniques de traitement des données* » (Joliveau, 2020, p.18). Il s'agit là de notre motivation principale. En envisageant la géomatique comme approche d'étude, notre objectif est double. Il vise premièrement à examiner des solutions pour adapter ces techniques à la complexité des grottes ornées, et également à explorer et développer des moyens d'analyses spatiales pour l'étude des grottes et de l'art préhistorique.

Ce travail s'intègre dans plusieurs champs de recherche.

Tout d'abord celui de la « **science de l'information archéologique** ». Les sciences de l'information archéologique traitent de la représentation et de la manipulation de l'information archéologique dans des systèmes d'information (Llobera, 2011). Les outils numériques suscitent des questionnements quant à leurs apports à la recherche et des courants de pensée comme les « humanités numériques » interrogent les pratiques, les usages ou encore la place occupée par les outils numériques dans les sciences humaines et sociales. Des réseaux de chercheurs travaillent à la convergence des pratiques au-delà des champs disciplinaires, militant pour que le numérique soit mis au profit d'une recherche plus transparente et plus accessible (Dacos, 2011). Dans la dynamique de ce courant transdisciplinaire, nous analyserons les effets que ces méthodes ont à terme sur la recherche archéologique en grotte ornée.

Ce travail s'inscrit également dans la continuité des **recherches sur l'organisation interne et spatiale des grottes ornées** (Leroi-Gourhan, 1958a ; 1958b ; 1958c ; Vialou, 1982 ; Leroi-Gourhan et *al.*, 1984 ; Vialou, 1986 ; Gonzáles, 1987 ; 2001 ; Lorblanchet, 1994 ; 1995 ; 2001 ; Sauvet, 1993 ; Sauvet et Tosello, 1998 ; Arias, 2009 ; Clottes, 2010 ; Pastoors, 2011 ; Pigeaud et *al.*, 2018). Depuis les années 1960, les travaux font état des nombreuses méthodes pour questionner, représenter, et expliciter les relations entre les entités graphiques et leur lien à la cavité (Leroi-Gourhan, 1979 ; Barrière, 1982 ; Vialou, 1982 ; Sauvet, 1988 ; 1993 ; Lorblanchet, 1994 ; Gonzáles, 2001). Cette

champs disciplinaires a continué d'être augmentée. On pourra aisément rajouter génie civil, sécurité civil, tourisme ou encore l'humanitaire.

⁶ En géographie, la question de la reconnaissance de la géomatique comme discipline est sujette à des controverses depuis les années 90. Cette controverse oppose les géographes culturelles face aux géomaticiens (Joliveau, 2020). Nous reviendrons plus amplement sur cette controverse dans la Partie I.

recherche vise, par l'utilisation des SIG, à explorer, interroger et restituer ces interactions.

Enfin, cette thèse s'intègre dans **le champ de la recherche en géomatique**. Comme nous l'avons signalé, les grottes ornées sont des espaces singuliers et inédits pour l'utilisation des SIG en raison de leur morphologie et leur répartition tridimensionnelle de l'information à collecter dans ce volume. La grotte offre alors un champ d'investigation innovant autant pour la création de nouvelle méthode que pour identifier les types de pratiques et usages de la donnée spatiale.

Ce travail de recherche s'organise en quatre parties. Une **première partie** présente les principaux concepts, dresse un état de la recherche et des outils disponibles pour l'étude de l'organisation spatiale des grottes ornées préhistoriques. Les trois parties suivantes exposent trois configurations caractéristiques et problématiques rencontrées dans l'étude des grottes où la géomatique peut apporter des solutions. Ces exemples s'appuieront sur deux terrains de recherche, la grotte Chauvet en Ardèche et la grotte de Marsoulas en Haute-Garonne.

Dans la première partie, nous présenterons la notion d'organisation spatiale dans les travaux des chercheurs en art paléolithique ainsi que les principaux outils mobilisés pour restituer la relation art pariétal et grotte. Nous introduirons également notre positionnement géomatique.

Dans une **seconde partie**, nous traiterons de la **dimension organisationnelle** de l'outil avec la **mise en place d'un dispositif webSIG à l'attention d'une équipe de recherche pluridisciplinaire**. Nous nous appuierons sur la **grotte Chauvet** qui mobilise depuis sa découverte une vingtaine de chercheurs issus de disciplines variées : archéologues, géologues, paléontologues, géochimistes, physiciens. La gestion et l'harmonisation de ces identités scientifiques différentes, aux méthodologies plurielles, ont nécessité le déploiement d'un SIG adapté à cette organisation. La position du SIG apparaît alors stratégique et apporte de nouvelles questions concernant l'impact des changements de pratiques pour la recherche collective. Grâce à l'observation participante et aux entretiens que nous avons menés, nous évaluerons les effets des outils géomatiques sur la recherche pluridisciplinaire.

Dans une **troisième partie**, nous nous intéresserons à la **dimension spatio-temporelle** avec la mise en place des méthodes SIG 3D **pour comprendre le processus de mise en place du décor de la grotte de Marsoulas**. La géomatique est mobilisée pour croiser la documentation existante, afin de la rendre compatible, avec les informations des parois, du sol et de la stratigraphie. C'est la question des

dynamiques chronospatiales et du mode d'ornementation des parois qui sera explorée grâce aux outils déployés.

Dans une dernière partie, nous étudierons le **comportement spatial de sapiens dans les grottes ornées**. Des traces de colorant sont décrites dans de nombreuses grottes ornées et ont été interprétées à travers plusieurs hypothèses : balisage, corps enduits, systèmes d'orientation, rites collectifs. Cette **étude s'appuiera une nouvelle fois sur la grotte Chauvet**, car de multiples traces de colorant sont réparties dans la cavité. Nous mettrons en place une analyse multicritère et une analyse spatiale des traces pour mieux appréhender leur zone de répartition. Ces méthodes d'analyses spatialisées permettront de restituer leur distribution, en lien avec la topographie et leurs relations au dispositif ornemental préalablement étudié. Ces méthodes d'analyses visent ainsi à confronter les traces de colorant de la grotte Chauvet avec les hypothèses fonctionnelles existantes.

1.- L'ORGANISATION SPATIALE EN GROTTES ORNÉES : DES CONCEPTS AUX MOYENS D'ÉTUDE

1.1. - Introduction

Tradition de population de chasseurs, collecteurs, nomades sans écriture, l'art pariétal désigne l'ensemble des représentations retrouvées sur les parois rocheuses des grottes et des abris-sous-roche. Cette pratique graphique prend place et perdurera durant tout le Paléolithique supérieur sur le territoire eurasiatique (40 000-12 000 cal BP).

Le « lieu » et la « pratique » sont alors deux éléments fondamentaux à considérer pour aborder l'étude de cette discipline. Le lien entre l'art pariétal et son contexte physique sont indissociables. L'art sur paroi est par essence associé à un support et s'inscrit dans un lieu, il se différencie de l'art mobilier dont les objets peuvent être déplacés. Même si le terme de spatialité est peu employé dans les travaux, c'est une notion présente et systématiquement interrogée dans toute approche de l'art pariétal.

Avant de proposer la géomatique comme une réponse méthodologique à l'étude de l'organisation de l'espace en grotte ornée, il convient de présenter les enjeux inhérents à toute analyse spatiale de l'art pariétal paléolithique. Dans cette première partie, nous présenterons le cadre historique des travaux sur l'organisation spatiale des grottes ornées dans lequel s'inscrit notre travail. Nous exposerons ensuite les recherches fondatrices d'André Leroi-Gourhan avant d'explicitier les spécificités des grottes qui doivent être prises en compte dans toute lecture spatiale de l'information.

Dans un second temps, nous nous positionnerons sur le cadre méthodologique, en montrant les techniques de représentation graphique mobilisées, pour décrire l'organisation spatiale. Nous présenterons les nouveaux apports et l'élan porté par les outils 3D pour l'étude du milieu souterrain et des représentations. Enfin, nous exposerons les usages actuels du SIG en grotte et art rupestre ainsi que les apports pressentis pour l'étude des grottes ornées.

1.2. - L'art pariétal, la grotte et son organisation

1.2.1. - Des premiers travaux à l'importance du structuralisme

Dans la première moitié du XXe siècle, on cherche à comprendre le sens des images. La signification de l'art est interprétée comme une « *pratique* »⁷, dont l'objet ne se trouve pas dans la finalité de la production artistique, mais dans l'acte de le réaliser. Dès le début de ces études, les figures sont étudiées indépendamment les unes des autres et de manière isolée. Les images sont extraites de leur support et déconnectées de leur contexte graphique (Sauvet et Tosello, 1998). Les associations figuratives ne sont pas lues comme une organisation, mais comme un ensemble d'œuvres juxtaposées (Clottes, 2003 ; Taborin, 2005 ; Feruglio et Robert, 2015). La découverte d'art dans ce milieu souterrain oriente cependant les hypothèses proposées de magie de la chasse⁸, « *Ils prièrent ce qu'ils considéraient comme les traits les plus importants du contenu de l'art paléolithique (les animaux, les flèches, etc.) insistant sur la localisation dans les profondeurs des grottes loin de l'habitat, et en déduisirent une fonction magique secrète* » (Ucko et Rosenfeld, 1967, p.150). Si dès cette période l'importance du lieu est soulevée, les recherches se concentreront peu sur la compréhension spatiale, l'objectif est surtout d'effectuer des relevés et d'étudier les parois pour les faire connaître à un large public. Les préhistoriens percevaient déjà cette relation entre les figures et la paroi, mais elle n'était pas encore un sujet systématique d'investigation. Les relevés d'Henri Breuil à la grotte d'Altamira ou encore à la grotte de Font-de-Gaume attestent dès 1903, des observations sur l'intégration des figures dans les formes de la paroi (Figure 1).



Figure 1 – Plafond d'Altamira, dessin du plafond aux bisons d'Altamira en Espagne, relevé au 1/5e de l'Abbé Breuil et Émile Cartailhac, 1902.

⁸ Théorie proposée par Salomon Reinach qui sera dominante au début du XXème siècle (Reinach, 1903 ; 1912).

Dans les années 1940-1950, le courant structuraliste se développe en sciences humaines et sociales. Ces idées sont influencées par le structuralisme de Claude Lévi-Strauss, dont les fondements méthodologiques sont empruntés à la sémiologie linguistique de Ferdinand de Saussure (Dosse, 2012).

Durant cette période, des paradigmes ouvrent la voie à de nouvelles méthodes d'étude. Max Raphaël est le premier à réfuter le postulat suivant lequel l'homme est incapable de créer des compositions complexes, monumentales à l'échelle de l'ensemble de la grotte (Baffier, 1988 ; Raphaël, 1946 ; 1974 ; 1986). Il observe, dès cette période, le caractère organisé des figures et préconise des méthodologies rigoureuses dans les observations et les relevés des parois. Cette période est un véritable tournant méthodologique dans l'étude des figures et de leur relation à l'espace. Deux chercheurs ont impulsé ces travaux : Annette Laming-Empeaire et André Leroi-Gourhan.

Dans son travail de thèse, Annette Laming-Empeaire cherche à démontrer la signification de l'art préhistorique ainsi que les lois qui le déterminent. Elle apporte une démarche méthodologique et pragmatique à l'étude de l'art préhistorique. Ses recherches s'appuient notamment sur les abris sculptés, où elle unit l'ethnoarchéologie à des inventaires d'associations de figures, pour démontrer le caractère organisé de l'art préhistorique. Elle interprète, par exemple, la récurrence et le croisement du cheval et du bison comme une dualité mâle-femelle (Laming-Empeaire, 1962).

Durant la même période, André Leroi-Gourhan, va s'intéresser à la structure interne des grottes. Il a l'idée d'analyser la position des signes et des figures animalières dans la topographie générale (Soulier, 2018) (Figure 2).

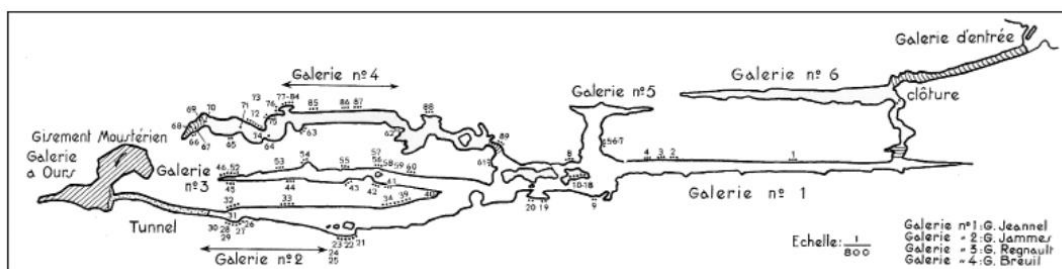


Figure 2 – Plan du Portel réalisé par (Breuil et Jeannel, 1955).

L'ambition de André Leroi-Gourhan est de repérer une organisation fonctionnelle globale. Dès ses premiers travaux sur les signes, il intègre une dimension topographique qu'il met également en place avec les figures animalières (Leroi-Gourhan, 1958a ; 1958b ; 1958c) « *Ce n'est pas dépasser les limites de l'objectivité que de tester les trois aspects de l'intégration spatiale de la caverne et de rechercher : 1) si les Paléolithiques ont transposé l'espace terrestre ; 2) comment ont-ils vu dans*

les accidents de paroi des objets précis ? 3) dans quelle mesure la caverne était perçue comme l'intérieur d'un corps ? » (Leroi-Gourhan, 1992, p.198).

Par l'étude de la disposition des manifestations graphiques, il vise à démontrer l'existence d'une cosmogonie générale. Il part du postulat que l'espace préhistorique est pleinement construit et intentionnel « *Sur le fait qu'ils aient senti dans la caverne les éléments d'un espace constructible, il n'est pas nécessaire de faire état d'une quelconque théorie de composition : tous les auteurs sont d'accord pour constater que les surfaces décorées ont été choisies ; il est même d'opinion courante qu'ils choisissaient de préférence les recoins et les lieux d'accès difficile, ce qui n'est d'ailleurs pas le cas général. Il est évident qu'un homme qui a placé deux points derrière une stalagmite ou sur les lèvres d'une fente a exercé une réflexion et un choix. Le fait de concentrer des animaux ou des signes dans une alcôve ou un diverticule, comme au Castillo, à Cougnac, à la Cullalvera, à Gargas, à Niaux, à la Pasiëga, au Portel, implique l'existence d'un certain patron spatial qui ne correspond pas à de l'incohérence » (Leroi-Gourhan, 1966, p.47).*

Ses travaux s'attachent à la recherche d'un patron spatial commun à l'ensemble des grottes ornées (Leroi-Gourhan, 1965a). Pour cela, il emploie une démarche inédite : il croise l'observation de terrain à l'utilisation de plans topographiques et aux fiches mécanographiques élaborées pour ses opérations statistiques. Son étude porte sur 67 grottes comprenant un corpus de plus de 1000 figures (Leroi-Gourhan, 1965a).

Avec ce travail topographique – grâce à la mise en place de schémas tripartites découpant la grotte entre l'entrée, les panneaux centraux et le fond – il s'affranchit du problème de la longueur et de la disposition des boyaux de la cavité. Il fait également figurer des formes topographiques comme les étroitures, les tournants et les changements de salle (Leroi-Gourhan, 1958c).

Dans cet environnement, il recherche la localisation des panneaux en identifiant : les figures centrales et les figures de pourtours. Ces résultats lui permettent de distinguer d'une part la localisation des figures et les types d'espèces dans la topographie générale, et d'autre part les associations d'espèces (Figure 3). Il résulte de son étude des partitions précises et il parle d'un « sanctuaire idéal » (Leroi-Gourhan, 1965a).

Cette configuration type se caractérise par la récurrence de figures à certains endroits du dispositif orné. Il identifie : les figures d'entrée comme le cervidé situé à proximité des ouvertures ; les figures centrales comme le bison et le cheval, localisées dans les zones larges et visibles ; les figures d'association, moins centrales comme les cervidés ou le bouquetin, mais proches des figures centrales ; les figures

de fin qui sont généralement plus rares et cachées comme le lion (Leroi-Gourhan, 1958a ; 1992).

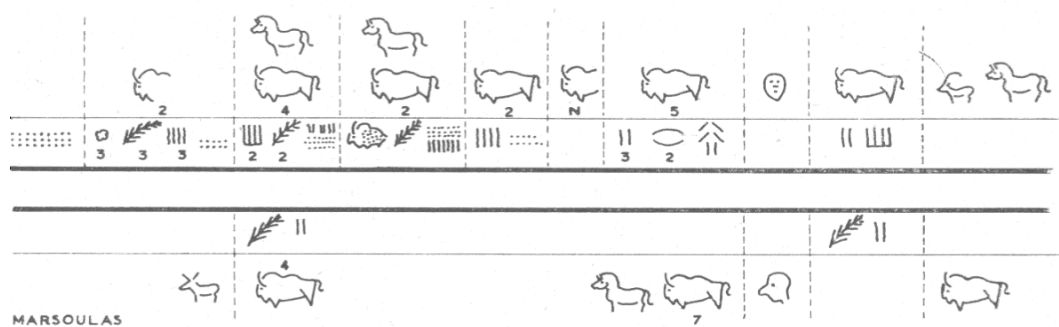


Figure 3 – Représentation de la grotte de Marsoulas (Leroi-Gourhan, 1958a, p.526).

La démarche d'André Leroi-Gourhan est novatrice et offre un nouveau regard aux recherches en art paléolithique. En comparant les dispositifs pariétaux, en utilisant une méthode de quantification et la modélisation graphique, il livre les premières cartographies de distribution au sein d'un contexte topographique. Il parvient à croiser l'information entre les formes de l'espace, les types d'espèces et la position des figures. Il introduit ainsi le premier moyen d'analyse de l'organisation spatiale des grottes ornées et ses travaux lancent les bases de l'analyse spatiale.

Certains auteurs ont soulevé des critiques - un découpage fondé sur le contenu et non réellement sur la topographie, le dénombrement des figures ou encore l'aspect monolithique du modèle proposé (Ucko et Rosenfeld, 1967 ; Sauvet, 2004)⁹, toutefois ces opérations ont ouvert la voie à de multiples recherches dans le paysage archéologique (Leroi-Gourhan, 1950).

Les années 1960 marqueront un véritable tournant pour la recherche en art paléolithique par la diversité des méthodes et des problématiques. Les scientifiques s'intéressent à la restitution des distributions graphiques, à la succession chronologique des styles artistiques et à l'observation des tendances et des récurrences thématiques. Les auteurs analysent les grottes comme un ensemble, ils mènent des approches comparatives et transversales des thématiques. Ces méthodes apportent de nouveaux résultats et montrent non seulement l'existence d'une logique dans l'organisation des figures, mais également une intention dans le

⁹ Une démarche qu'il défendra comme une étape préalable à toute forme d'interprétation « *Ce patron a été implicitement accepté par les préhistoriens, mais combien, plan en main, ont essayé de retrouver au moins les lignes générales de l'image spatiale du Paléolithique ? C'est pourtant une démarche indépendante de toute implication idéologique.* » (Leroi-Gourhan, 1966, p.47) ou encore « *Je me suis efforcé de définir des rapports, comme une étape préalable à la recherche d'autres rapports dont certains, peut-être, se résoudre un jour explicitement* » (Leroi-Gourhan, 1966, p.49). Les critiques vont de pair avec l'ambition de l'étude.

choix des emplacements au sein de la grotte (Laming-Empeire, 1962). Ces travaux imprèneront durablement les études d'art paléolithique. La démarche d'inventaire et les recherches des logiques d'organisation des figures seront complétées par des approches statistiques multivariées (Sauvet et al., 1977 ; 1979 ; 1992 ; 1995).

Les travaux d'André Leroi-Gourhan portaient sur la recherche de récurrences, de règles et de structures destinées à saisir la signification de l'art paléolithique. Il est le premier chercheur à avoir posé les bases de l'analyse spatiale et un socle méthodologique pour démontrer une corrélation entre les images et l'espace. Si aujourd'hui l'approche structuraliste reste prégnante en art préhistorique, la recherche du sens de ces images ne peut plus être posée de manière généraliste et comparatiste avec la mise en place de modèle. Le protocole méthodologique pour restituer et visualiser le lien entre les figures et leur espace est une base fondatrice de l'étude de l'art préhistorique. Nous nous inscrivons dans cette démarche : l'analyse spatiale des grottes peut être une aide à la compréhension des logiques de disposition de l'information.

1.2.2. - Les spécificités de l'étude de l'organisation spatiale : des acquis poststructuralistes renforcés

Aujourd'hui, toute étude de grotte ornée repose sur la mise en relation des entités graphiques en rapport avec son contexte de découverte, de ce fait la question de l'organisation spatiale est inhérente à toute étude en art pariétal. C'est suite aux travaux d'André Leroi-Gourhan que certains préhistoriens ont relevé l'importance d'étudier et de prendre en compte des paramètres pour poser les bases d'une étude organisationnelle. Les publications monographiques et les travaux sur les contextes régionaux ont contribué, par ailleurs, à faire avancer la discipline.

Le premier point à considérer dans l'organisation spatiale d'une grotte est la question de la contemporanéité des dessins et de la lecture chronologique de l'information. Si André Leroi-Gourhan avait mis en lumière des correspondances et des liens de parenté dans ces ensembles, les travaux suivants ont au contraire mis l'accent sur les particularismes des dispositifs pariétaux. Les travaux de Denis Vialou en Ariège ou de Michel Lorblanchet dans le Lot ont fortement insisté sur le caractère inédit des grottes dû aux fréquentations répétées sur un temps long (Vialou, 1981 ; 1986 ; 2004 ; Lorblanchet, 2001 ; 2011). Ces deux auteurs réfutent l'existence d'un schéma de distribution commun à l'ensemble des grottes et mettent en évidence le caractère unique des grottes les unes par rapports aux autres à travers leur topographie et la chronologie de fréquentation (Lorblanchet, 1995 ; 1999 ; 2003). De plus, la possibilité de dater directement le charbon de bois grâce au ^{14}C dans les

années 1990 a renforcé cette lecture non linéaire et complexe de ces ensembles (Billard, 2008). Le regard porté sur les grottes doit être abordé sous un angle dynamique, en considérant les possibilités de fréquentations qu'elles soient courtes, longues, continues, répétées ou en ruptures. Il faut tenir compte de la superposition et de la proximité spatiale des entités graphiques qui ne sont pas un gage de contemporanéité. L'approche spatiale des éléments chronologiques reste alors une voie intéressante pour la compréhension des grottes.

Un autre élément à considérer est la multiplicité des témoins archéologiques. Au-delà des dessins, il existe au sein des grottes une diversité d'indices archéologiques : traces colorées, marques charbonneuses, dépôts d'objets symboliques, déplacements d'objets, vestiges d'aires de séjour qui sont à intégrer pour comprendre et qualifier le rapport au lieu (Glory, 1945 ; Vialou, 1979 ; Clottes, 1993a ; Bégoüen, 1996 ; Clottes et al., 2001 ; Monney, 2009 ; Monney et al., 2010 ; Labarge, 2012 ; Peyroux, 2012 ; Medina-Alcaide et al., 2018). L'organisation et la mise en relation de ces témoins offrent un cadre contextuel large pour la compréhension de l'occupation et de la fréquentation de la grotte. L'importance de ces témoins archéologiques est centrale car ils peuvent renseigner sur les activités et la fonction de certaines zones (Lorblanchet, 2010).

Ensuite, l'un des paramètres fondamentaux à considérer pour l'étude de l'organisation spatiale est la topographie et la morphologie générale de l'espace. Si les premiers auteurs avaient déjà identifié le rôle du relief dans l'œuvre, de nouveaux travaux ont permis de reconsidérer ce rapport. Reyaldo Gonzáles s'est intéressé à la question de l'organisation spatiale sous l'angle des surfaces disponibles et surfaces ornées (Gonzáles, 1987 ; 2001). Il a pensé l'organisation interne de la grotte comme un dialogue entre les capacités d'une paroi apte à recevoir des manifestations graphiques (couleur, forme, rugosité) et un projet iconographique préalablement porté par un auteur. Norbert Aujoulat, interroge la spatialité à la sélection et les propriétés des supports (Aujoulat, 2002, 2013 ; Ferrier et al., 2017). Il souligne alors les propriétés mécaniques comme « *un autre élément majeur dans les choix effectués et décisions prises* » (Aujoulat, 2013, p.257). Georges Sauvet et Gilles Tosello mettent en évidence le dialogue intimiste, voire discret, entre l'artiste et son support (Sauvet et Tosello, 1998). L'existence de formes prégnantes sur la paroi et dans la grotte serait recherchée, elles deviennent initiatrices de la création des figures. Le relief est alors un point de départ suggestif, que les paléolithiques ont souligné, quelques fois d'un unique geste comme si ces figures préexistaient. De nombreux travaux montrent des exemples sur le sujet comme l'intégration des volumes des parois dans le bas-relief (Brot, 2005 ; 2012 ; Delporte et al., 1998 ; Pinçon, 2007 ; 2008a ; 2009), ou encore les études sur l'intégration des microreliefs dans

l'utilisation des signes pariétaux (Lejeune, 1981 ; 1985 ; 2004 ; Robert, 2007 ; 2017). Au-delà même des figures, l'organisation de l'ornementation s'effectue parfois autour d'éléments géologiques comme les résurgences d'eau, des failles, les concavités ou les proéminences rocheuses. Ces éléments sont choisis délibérément et semblent renforcer ou organiser le message narratif véhiculé (Clottes et al., 2012). La topographie peut être aujourd'hui considérée comme un véritable appui au discours de la narration graphique (Fritz, 2020). Ainsi ces auteurs soulignent l'importance de la volumétrie et de la morphologie dans la répartition des figures. La composante paroi doit pouvoir être interrogée, car elle joue un rôle fondamental dans l'organisation spatiale des entités dans la grotte.

1.3. - Visualiser et restituer l'organisation spatiale : les outils

1.3.1. - Plan topographique et relevés graphiques

Deux documents majeurs s'inscrivent dans l'étude et la compréhension de l'organisation spatiale. Le premier est le plan topographique réalisé à partir d'un relevé de terrain, le second est le relevé graphique de paroi. Ces représentations graphiques sont appliquées à l'étude des grottes ornées et tiennent une place méthodologique centrale dans la compréhension des cavités.

Le plan topographique va chercher à représenter la structure interne de la topographie d'une grotte. C'est un document conventionnel, d'abord réalisé et utilisé par la spéléologie moderne, dès le début du XXème (Rouzaud, 1993) (Figure 4). C'est une étape essentielle de la documentation de l'environnement souterrain qui rend compte de l'étendue et du développement des galeries. Le relevé topographique va surtout saisir la surface interne d'une grotte et retranscrire les données collectées sur différents supports visuels : des plans, mais aussi des coupes verticales « *Le but essentiel de la topographie interne d'une cavité naturelle conservant des œuvres d'art pariétal est pourtant de définir, décrire et de permettre la traduction de l'espace utilisé ou parcouru par les auteurs et les utilisateurs des œuvres paléolithiques* » (Rouzaud, 1993, p.39). Il reste incontournable à toute étude des grottes et reste une base pour entamer toute réflexion spatiale. En art pariétal, il existe un document aussi central qui est le relevé graphique (Figure 5). Il est réalisé par les préhistoriens pour rendre compte de leurs observations, de leur compréhension de la paroi ornée, pour visualiser les manifestations graphiques ainsi que leur contexte immédiat (Aujoulat, 1987 ; Fritz et Tosello, 2007 ; 2016b ; Pales et Tassin de St-Péreuse, 1969). Le relevé graphique est un processus proche d'une fouille archéologique, mais appliqué à la paroi (Lorblanchet, 1973 ; 1993a). « *Un relevé est une image explicative*

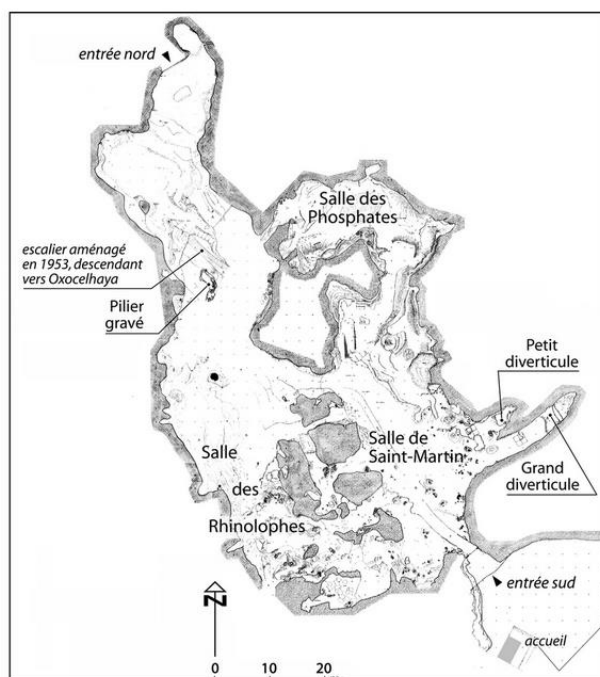


Figure 4 – Plan topographique de la grotte d'Isturitz (par F. Rouzard et A. du Fayet de la Tour ; d'après Normand) (Pétillon et Letourneux, 2006).

et interprétative. Il a un double but : déchiffrer la paroi ornée et en dresser un état à un moment donné » (Lorblanchet, 1984, p.41).

C'est en partie grâce aux analyses s'appuyant sur les relevés qu'il est possible, de procéder à l'étude de composition, technique, de proposer des schémas de répartitions thématiques et des lectures des panneaux. Ils montrent l'organisation des figures entre elles et leur intégration dans le relief de la paroi.

Le plan topographique et le relevé graphique sont essentiels à l'étude des grottes ornées, mais répondent chacun à des objectifs distincts : l'un se concentre sur l'étude de la topographie générale du lieu, l'autre sur la position et la relation entre les figures. Il existe alors un enjeu réel à pouvoir les croiser.

Pour faire dialoguer les éléments provenant de ces deux sources d'information, plusieurs options ont déjà été mises à l'essai dans le passé (Figure 7). C'est par exemple la réalisation de plans de répartitions des œuvres dans le déroulé

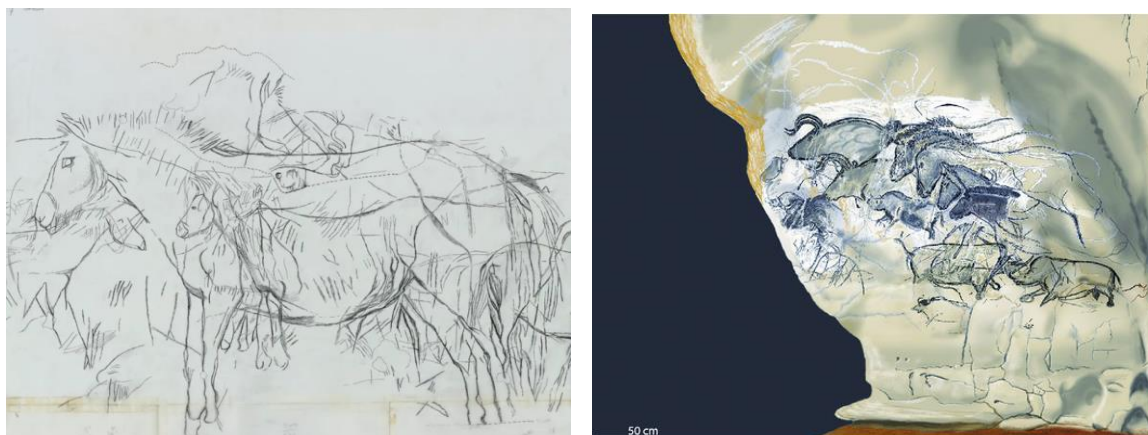


Figure 5 – Grotte de Lascaux (Montignac), relevé sur calque de l'abbé André Glory (1906-1966). - © Archives du ministère de la Culture, Centre national de préhistoire. / Grotte Chauvet (Ardèche), relevé du Panneau des chevaux, Salle Hillaire, Carole Fritz et Gilles Tosello (Fritz et Tosello, 2015).

graphique, en utilisant directement des photographies des zones rattachées en plan (Figure 7-1). Ou encore des associations relevé/plan topographique (Figure 7-3), voire la création des vues axonométriques pour visualiser le contexte topographique des figures (Figure 7-4), enfin dans le cas d'utilisation d'un SIG, la localisation des zones de densités graphiques peuvent être exprimées dans le déroulé avec l'aide de cercles proportionnés (Figure 7-5). L'existence de cette diversité de manière d'associer l'information graphique en paroi au plan topographique du sol ouvre sur l'enjeu de proposer des solutions pour faciliter la lecture, mais aussi la mise en relation de l'information apportée par ces deux types de documents. Toutefois François Rouzaud a souligné la difficulté de les réunir sur un même plan. En effet, les plans de répartition sont réalisés au sol, pourtant les figures se situent en coupes sur la paroi. Si le plan topographique résulte d'un travail précis, la localisation des manifestations sont alors souvent associés de manière plus approximative par la suite (Rouzaud, 1993).

Les réflexions de mise en place de la grotte et du dispositif pariétal ont surtout été avancées par André Leroi-Gourhan dont les travaux d'analyses spatiales s'approchent d'une véritable démarche SIG. Il va chercher à croiser les deux plans (vertical et horizontal) entre les formes morphologiques de la grotte et les thématiques de l'art pariétal. Dans sa réflexion, il ne mobilise pas le relevé en tant que document, mais il intègre uniquement les figures par le biais de symboles. Annette Lamping-Emperaire livre également dans son ouvrage des exemples similaires, dont une véritable démarche analytique en s'intéressant aux positions des figures sortantes et entrantes. Elle part de la position des figures qu'elle restitue par une seule de leur caractéristique : l'orientation de leur profil en fonction de l'entrée (Figure 6).

Cette entrée par le biais des documents graphiques reste ainsi un prétexte à soulever l'intérêt de construire une démarche associant plus directement ces deux sources d'information. D'une part toute l'analyse et les observations tirées des relevés (technique, caractéristique, position, orientation, association, forme, couleur...) intégrées aux formes de la grotte (morphologie, relief, support, position dans la grotte, type de surface). Nous pensons que cette entrée méthodologique dans la continuité des travaux d'analyses spatiales peut offrir de nouvelles possibilités analytiques pour repenser les questions organisationnelles. Comme le mentionnent certains auteurs : « *L'espace souterrain n'est abordé que pour situer les unités graphiques, mais il ne fait pas l'objet d'une analyse en soi en relation avec le ou les dispositifs pariétaux* » (Groenen, 2013, p.74). Si ces propos restent à nuancer, il existe malgré tout un potentiel à travailler sur ces méthodes à partir des démarches des années 1960 qui ont ainsi déjà préparé un terrain d'investigation à l'analyse

spatiale et l'utilisation du SIG. L'enjeu principal reste cependant de pallier aux problèmes techniques afin dialoguer des informations en paroi et au sol, et cela dans un volume 3D.

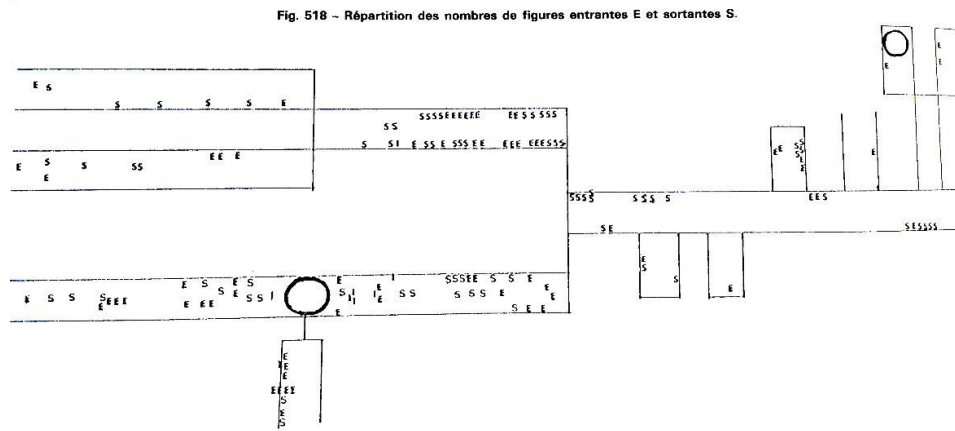


Figure 6 – Plan topographique Annette Laming-Empeiraire (Laming-Empeiraire, 1962).

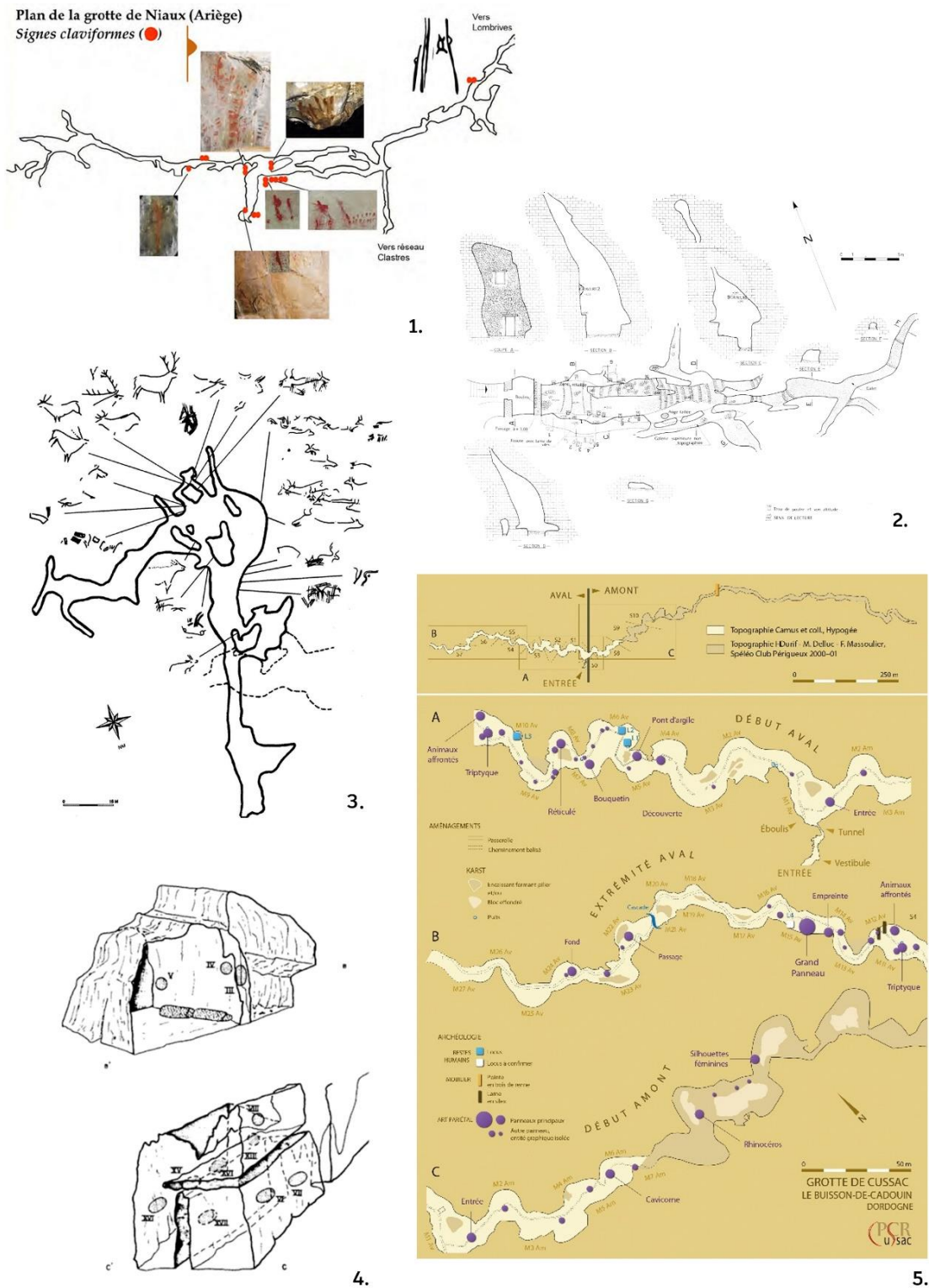


Figure 7 – Synthèse des types de cartes.

1 – Emplacement des claviformes dans la grotte de Niaux (Robert, 2005).

2 – Grotte du Pigeonnier (Delluc et al., 1983).

3 – Las Chimeneas : plan de la grotte, avec indication de l'emplacement des figures (M. García Díez & D. Garrido Pimentel, 2010, p. 207).

4 – Grotte de Las Monedas : développement virtuel en 3D dimensions des zones de la galerie des peintures. (González, 2001, 103).

5 – Topographie simplifiée de la grotte de Cussac de la grotte de Cussac, (© DAO F. Lacrampe-Cuyaubère (d'apr. relevés terrain H. Camus & coll./Hypogée et Durif-Delluc-Massoulier/spéléoclub de Périgueux), PCR Cussac/MC.) (Jaubert et al., 2018).

1.3.2. - Les outils 3D : des supports transversaux

Les traditions graphiques sont bien ancrées en archéologie. De ce fait, le 3D a trouvé facilement une place dans les différentes étapes de la chaîne opératoire du relevé et de la topographique, car toute démarche d'étude de l'organisation spatiale repose sur un environnement tridimensionnel. En ce qui nous concerne, on ne peut pas aborder les SIG sans évoquer les apports du 3D, car ces deux technologies sont liées dans le cadre de l'étude d'une grotte. Le déploiement de tout SIG en grotte repose au préalable sur l'acquisition de document 3D, mais également, car toute réflexion sur des manifestations graphiques situées en paroi doit forcément intégrer une réflexion volumétrique. Les grottes ornées contiennent de nombreuses informations et l'archéologue doit déployer des moyens d'envergure pour collecter et identifier la totalité des informations présentes dans ce volume : « *Les travaux des trois dernières décennies nous ont apporté la preuve que la grotte est un espace investi par l'homme paléolithique en fonction de critères qui nous échappent, mais que nous sommes intéressés à comprendre. Pour cela, le volume de la cavité doit être impérativement restitué dans sa totalité* » (Sauvet, 1993, p.300). Si les outils, les documents graphiques restent encore normés et structurés, l'arrivée de technologie 3D offre de multiples supports de compréhension et de restitution de la paroi. Ainsi deux technologies, la photogrammétrie et la lasergrammétrie, ont contribué à l'étude de l'art pariétal et du milieu souterrain (Annexe 1).

L'accessibilité des techniques de photogrammétrie dans les années 2010 peut être considérée comme un tournant méthodologique majeur pour le processus de relevé graphique et de sa restitution des volumes. Elle permet par la prise de vues photographiques et le recouvrement d'une scène, de disposer d'un modèle 3D de la paroi à une échelle réelle. C'est à la fin des années 2000, que l'on assiste à une démocratisation de ces méthodes grâce à des suites logicielles plus accessibles, le déploiement de formation et de nouveaux modes d'acquisition (Fritz et *al.*, 2007 ; 2016a ; Rivero et *al.*, 2019 ; Robert, 2014 ; 2016).

Appliquée à l'art préhistorique la photogrammétrie offre aux archéologues la possibilité de générer des modèles 3D des parois, des orthophotos, des textures, modèles numériques de terrain. Ces modèles facilitent une observation rapprochée de la paroi dans les zones où le déplacement est impossible. La photogrammétrie donne également accès à de nouveaux angles d'observation et rend la poursuite du relevé possible hors de la grotte. Par ailleurs, ces méthodes apportent de la précision aux études grâce à une photographie de haute qualité et aux techniques performantes de traitement d'images. La restitution en 3D intègre désormais les jeux de volumes dans le processus de restitution. « *These models provide a unique*

approach to the 3D quality of rock art, which is key to understand the art in context” (location in the panels, use of the rock surface, and so forth) and to show the multiple perspectives from where the audience can visualize the art (Domingo, 2014, p. 6355). Ces approches ont suscité un vif intérêt si bien qu’aujourd’hui elles sont devenues indispensables. Les perspectives d’utilisation sont nombreuses et renforcent ainsi la capacité des archéologues à étudier, restituer et diffuser les résultats de leurs observations. La photogrammétrie continue aujourd’hui à se développer et s’applique à de nouveaux cas d’étude. La relation entre le dessin sur les volumes et le 3D fait encore l’objet de travaux et les progrès technologiques en cours offrent des solutions pour intégrer la 3D dans les processus de relevé (Feruglio, 2015 ; Fritz et Tosello, 2015 ; Fuentes et al., 2019).

D’autres méthodes sont utilisées par les archéologues pour approcher la tridimensionnalité des espaces. Intégrés avant la photogrammétrie, la lasergrammétrie est aussi employée pour la modélisation des grottes. Ils ont été associés différemment au processus de relevés des archéologues, la photogrammétrie est ancrée dans une démarche archéologique tandis que les scans sont des appuis pour la reconstruction des volumes, la simulation ou encore les supports de restitution patrimoniale. Ils ont notamment servi aux géologues et spécialistes du milieu souterrain, qui comme les archéologues ont éprouvé des difficultés à prendre en compte la tridimensionnalité : « *Qu’il s’agisse pour certains d’un ensemble de vides dans un volume calcaire, qu’il s’agisse pour d’autres d’un ensemble de conduits connectés, qu’il s’agisse encore d’une surface topographique repliée et imbriquée sur elle-même, le karst est cet objet qui reste difficile ou réducteur d’appréhender en 2D, même si les plans ou les coupes ont toujours constitué et constituent encore un palliatif efficace* » (Jaillet, 2014, p.1). La géologie ainsi que la simulation paléoclimatique ont bénéficié des outils lasergrammétriques (Lacanette, 2010). Les études du karst ont nécessité, depuis longtemps, des technologies pour comprendre l’analyse de réseaux, la simulation en hydrogéologie ou encore l’analyse de spéléogenèse et la géomorphologie (Jaillet, 2014). Le 3D a donc rapidement trouvé une résonance dans cette discipline où l’étude des volumes s’avère incontournable. Utilisée dans une optique de modélisation, la lasergrammétrie permet notamment de reconstituer la grotte dans sa configuration paléolithique (Delannoy et al., 2010). L’arrivée de la lasergrammétrie en grotte ornée, dès les années 1990, a contribué à de nombreuses avancées en géologie, mais aussi dans son rapport au contexte de découverte graphique (Boche et al., 2010 ; 2014 ; Chazaly, 2010 ; Fritz et al., 2010a ; 2010b ; Burens et al., 2013 ; Angas, 2014 ; Jaillet et al., 2014 ; 2017 ; 2019). Ils ont également été utilisés dans la simulation archéologique, pour comprendre l’impact des foyers ou le niveau d’éclairage

(Hoffmeister et *al.*, 2016 ; Hoffmeister, 2017 ; Salmon, 2019). Le modèle 3D issu du scan permet de rendre compte plus concrètement des volumes, c'est un réel apport dans la restitution de ces espaces. Ces outils profitent aussi bien aux chercheurs qui l'étudient, à la communauté scientifique, et au grand public. Ils ont, par ailleurs, apporté un réel bénéfice aux problématiques patrimoniales notamment pour la filmographie, la réalité virtuelle immersive voire pour la réalisation des fac-similés (Chauvet, Lascaux, Cosquer, Cussac) (Thibault, 2001 ; Sadier, 2013). L'arrivée des scan 3D, dans les années 2000, offre aux archéologues et aux spécialistes du monde souterrain, de nouvelles représentations de ces espaces et de nouvelles possibilités pour effectuer des mesures et des coupes.

Les outils 3D s'intègrent d'une part à l'étude en cours en facilitant les méthodes déjà en place, mais ouvrent également tout un éventail de nouvelles perspectives analytiques à considérer pour l'étude des parois, du volume global d'une cavité, et visualiser la présence humaine. La photogrammétrie comme la lasergrammétrie sont aujourd'hui des bases de travail pour nous aider à explorer la question des sciences spatiales et notre démarche s'intègre pleinement dans l'usage de ces technologies.

1.3.3. - Les systèmes d'information géographique des outils adaptés à l'étude de l'ornementation des grottes ?

Si les SIG sont aujourd'hui pressentis pour étudier l'organisation spatiale des grottes, il convient d'abord de s'intéresser à la manière dont ils sont actuellement mobilisés en art rupestre et dans l'étude des grottes. Ce panorama vise à comprendre comment ils s'intègrent dans ces domaines et au profit de quel type de problématique.

L'utilisation des SIG dans les grottes ornées se concentre surtout sur l'étude de la répartition des vestiges, la restitution de la stratigraphie ou pour l'évaluation de l'environnement des grottes. Ces applications permettent, par exemple, de mesurer l'impact humain au sein des cavités ouvertes au public, de dégager des zones d'activités grâce à la répartition des vestiges ou encore d'identifier si la stratigraphie est en place ou perturbée (Fernandez-Cortes et *al.*, 2006 ; Sanchez et *al.*, 2007 ; Jiménez-Sánchez et *al.*, 2011 ; M'hamdi, 2011 ; 2012). En cas de longues périodes d'occupation ou de succession de couches, la modélisation de la stratigraphie apporte de la clarté dans la définition des phases (Elez et *al.*, 2013). La géostatistique, l'analyse spatiale ou la création d'indices aident à l'interprétation du mode d'occupation. L'aspect symbolique de certaines grottes a pu être mis en évidence grâce à la répartition des vestiges (Moyes, 2001 ; 2002 ; Moyes et Montgomery, 2016). Les SIG sont aussi utilisés pour évaluer la fragilité de ces espaces autour de

l'environnement karstologique (Hung et *al.*, 2002 ; Sanchez et *al.*, 2007 ; Jiménez-Sánchez et *al.*, 2011 ; Elez et *al.*, 2013). Dans le cas de fouilles programmées ou préventives, les SIG sont autant employés pour la gestion et les directives que pour la compréhension/caractérisation d'ensembles archéologiques.

Aujourd'hui, le 3D est associé aux SIG, des articles relatent des innovations dans le suivi de fouilles numériques associées à des orthophotos pour déterminer la progression et garder un historique des fouilles (Stal et *al.*, 2014). La mise en place de SIG pour centraliser l'information tend aussi à se systématiser en grotte ornée. Ce sont les grottes Chauvet, Lascaux et Cussac qui intègrent ces moyens de gestion de l'information à leur processus de documentation. Le SIG de Chauvet par exemple associe l'ensemble des éléments présents dans la grotte ornée comme les entités graphiques, la géologie, la topographie ou les artefacts (Aujoulat et Boche, 2007 ; Boche et *al.*, 2014 ; Ployon et *al.*, 2020).

En art rupestre, l'utilisation des SIG s'applique aux relations abris ornés/paysage. Les problématiques posées concernent généralement le territoire parcouru ou la position des abris en relation avec les sites d'habitat (Paterson and Wilson, 2009 ; Aubry et *al.*, 2012 ; Gillings, 2012 ; Huet, 2012 ; Russell, 2012 ; Garcia-Moreno, 2013a ; 2013b ; Ngandali, 2014 ; Wienhold, 2014 ; Bourdier et *al.*, 2017 ; Wienhold and Robinson, 2017 ; Niskanen, 2018 ; 2019). La répartition spatiale des abris ornés reste centrale dans les travaux SIG/art pariétal (Aubry et *al.*, 2012 ; Huet, 2012 ; Vatin et Bianchi, 2014 ; Haupt et Taçon, 2016). La perception de l'espace peut être aussi abordée, par le prisme de la visibilité et l'intervisibilité de sites ou des analyses « coût-distance » pour connaître les chemins les plus courts entre abris (Hartley et Vawser, 1998 ; Huet et Davtian, 2009 ; Russell, 2012 ; Gillings, 2015 ; Intxaurbe et *al.*, 2020 ; 2021). Les modèles prédictifs sont aussi une voie recherche qui entraînent de nouvelles découvertes (Garate et *al.*, 2020). Ce type d'approche n'est pas spécifique à l'art préhistorique, mais concerne l'ensemble de l'archéologie du paysage, de la préhistoire aux périodes les plus récentes.

Les problématiques de mobilité, d'échanges et de contacts sont récurrentes en archéologie et art préhistorique, les SIG apportent des solutions adaptées et font évoluer les études. Malgré ces constats et malgré la diversité des travaux sur de larges zones régionales, l'utilisation des SIG dans l'étude des distributions d'entités graphiques au sein des abris ou des grottes est quasi-inexistante. Même si dans les publications et les monographies de sites les cartographies de répartition des figures sont fréquentes, les SIG sont limités à de l'édition de cartes de distribution. Ils sont rarement utilisés pour des analyses spatiales au profit d'une compréhension plus précise de l'art préhistorique ou de la relation humaine/espace. SIG et art pariétal sont à un stade « novateur » et ne se différencient pas des études d'archéologie du

paysage. Les SIG en art rupestre sont plutôt mobilisées dans une échelle territoriale, l'approche intrasite reste sous-représentée dans les travaux. Il existe néanmoins une volonté des spécialistes d'art pariétal à transposer ces méthodes pour comprendre la place représentée par l'art rupestre au sein d'un territoire.

Certains conçoivent déjà l'apport de ces nouvelles technologies dans l'enregistrement et l'étude d'une paroi ornée comme un véritable système d'information « *New technologies develop, new improvements in each step of the rock art recording process will be introduced. This will include reducing subjectivity and direct impact on the art, increasing the accuracy of the records, or reducing the size of the files to facilitate virtual storage and dissemination, to name a few. At the moment, 4D models are with no doubt the most immediate future for rock art recording methods, but certainly, the digital era still hides new unimaginable surprises that will benefit the discipline* » (Domingo Sanz et al., 2013). L'intégration des SIG pour répondre à des questions de modélisation et de stratigraphie pariétale est aussi envisagée (Russell, 2000).

Ainsi le peu d'exemples mobilisant les SIG en art pariétal, à la différence des autres outils numériques, est essentiellement dû à des limites méthodologiques du traitement de la verticalité. Deux options sont alors possibles : apporter les entités en vue aérienne en symbole ponctué ou réaliser des SIG avec un changement de plan de la paroi, la paroi sera alors abordée comme le sol. Cette proposition reste néanmoins très cloisonnée, car elle limite la communication des parois entre elles. L'enjeu est de proposer une autre approche méthodologique pour essayer de comprendre l'organisation spatiale en art pariétal. Pour cela, il faut alors se baser sur les questionnements ouverts par les préhistoriens en art préhistorique en mobilisant alors un nouvel éventail méthodologique. C'est par le biais de ces outils 2D, 2,5D ou 3D que l'exploration pourra être mise à profit de problématiques plus structurelles en lien avec la donnée étudiée (Annexe 2).

Cette approche géomatique s'inscrit pleinement dans le champ des sciences humaines et sociales. Notre positionnement est avant tout social, car les outils sont mis au service de l'étude et de la compréhension des comportements humains. Il s'agit d'une part de questionner des comportements sociaux contemporains – l'usage et la relation des chercheurs avec les outils numériques – mais également d'étudier des comportements sociaux passés – le comportement humain en grottes ornées au Paléolithique. Même si ce travail apporte des solutions méthodologiques, il ne cherche pas à développer de nouveaux outils, mais à composer avec les solutions existantes.

Ce travail est influencé par l'archéologie spatiale anglo-saxonne et les courants perceptifs avec la création des SIG qualitatifs et mixtes. Cette discipline fournit très

tôt des cadres de référence, associant des concepts géographiques – relation humain/espace –, aux études archéologiques. Archéologues et géographes se rapprochent et portent un intérêt au contexte spatial : les objets d'études sont orientés sur le paysage et leur transformation (Favory et *al.*, 2012 ; 2016). Cette archéologie spatiale s'est fortement intégrée aux courants post-processualistes. Les problématiques se concentrent sur la perception humaine dans son environnement, préférant la phénoménologie aux approches fonctionnalistes et déterministes héritées de la *new-archeology/processualist archeology* de Lewis Robert Binford (Binford, 1968). Comme on ne peut pas questionner les groupes culturels du passé, c'est l'approche phénoménologique qui est privilégiée (Tilley, 1997 ; 2001 ; Hamilton et *al.*, 2006). Cette approche permet de travailler sur l'individu, on entend ainsi la phénoménologie comme une démarche qui part de l'expérience des phénomènes du sensible qui vise à extraire les dispositions élémentaires des expériences et ce qui constitue l'expérience même (Husserl, 1950). Héritée de la philosophie d'Edmund Husserl ou de Maurice Merleau Ponty, cette démarche est également présente dans le domaine de la géographie culturelle et sociale. Les pionniers de l'archéologie post-processualiste, comme Ian Hodder, plaident en faveur d'un espace subjectif et non linéaire, défendant une archéologie comportementaliste, sociale, qui s'intéresse à la perception des individus (Hanna and Hodder, 2015). Ce courant de pensée, toujours en vigueur outre-Manche, s'appuie sur l'utilisation des sciences spatiales et plus particulièrement des SIG pour évoluer. Il s'attache, à travers les données climatiques, géologiques, topographiques, polliniques et archéologiques, à questionner les « taskplaces », des lieux définis afin de recréer des cadres de réflexion pour poser des « affordances » (potentialités interprétatives) telles que les définit Mark Gillings (Gillings, 2012 ; Lock and Pouncett, 2017). Certains auteurs soutiennent même la création d'un nouveau courant d'archéologie spatiale avec le SIG comme un des paramètres méthodologiques. On retrouve ce courant sous les noms de « archeoscience », « giscience » (Llobera, 2011 ; 2012 ; Gillings, 2012). Les SIG s'introduisent directement dans ces courants de pensée et s'ancrent dans l'archéologie spatiale. Ils contribuent à représenter des processus imperceptibles du monde réel. Ils aident à modéliser des phénomènes et des réalités potentielles dans le but d'ouvrir des perspectives ou de livrer différents scénarios (Lock, 2017 ; Richards-Rissetto, 2017). Ces scénarios permettent de discuter de l'espace vécu et perçu.

Ce sont d'une part les concepts de la géographie culturelle et les méthodes de l'archéologie spatiale qui offrent alors des cadres conceptuels et méthodologiques permettant de retravailler sur la pratique spatiale en Préhistoire. Ces courants perceptifs s'intéressent à l'étude des perceptions humaines en ouvrant le champ

interprétatif. Ils raisonnent avec ce que l'on nomme les SIG qualitatifs et mixtes. Les SIG et la cartographie sont des véritables vecteurs de compréhension sociale même s'ils se composent avec des acquisitions qualitatives. C'est la démarche volontaire, conceptuelle proposée par ce courant perceptif qui nous intéresse plus que les représentations humaines de l'espace. Ces courants se veulent exploratoires et créatifs pour représenter et interroger les données spatiales ce qui fait pleinement écho à notre objet d'étude.

Ce travail est également influencé par les SIG critiques. Dès leur apparition et leur banalisation dans la recherche, les SIG ont suscité des réactions. Ce sont tout d'abord les géographes qui ont vu l'arrivée des SIG comme une simplification de la compréhension des phénomènes humains. Ces phénomènes, pour ces spécialités, ne pouvant pas être étudiés par le biais d'un simple outil technique (Joliveau, 2020). L'un des premiers éléments décrits par les courants critiques des SIG qu'il soit issu de la géographie ou l'archéologie est « l'effet boîte noire » (Rodier, 2016). L'effet boîte noire se décrit comme une forme d'incompréhension des processus réalisés par le logiciel amenant à un résultat. Des archéologues spécialistes de l'espace ou du paysage comme Gary Lock mettent alors en évidence le fait que sans problématique spatiale étudiée, l'utilisation des SIG s'avère obsolète « *It is important to recognise that use of GIS in itself does not constitute an advance in spatial thinking. Without a nuanced understanding of concepts of space and detailed justification of processes of reasoning, the role of GIS is reduced to that of a new tool of representation* » (Lock and Pouncett, 2017, p.130). Les critiques portées à ces travaux sont assez proches de ce que l'on retrouve au sujet de la néogéographie. La banalisation des outils cartographiques associée à une communauté de non-spécialistes est susceptible d'entraîner des erreurs de cartographie ou une production d'analyse spatiale mal maîtrisée (Joliveau, 2010). Ces critiques formulées à l'égard des SIG sont importantes à considérer, car elles remettent en question l'usage de l'outil. Une pratique opérante d'un SIG repose intégralement sur une maîtrise de concepts spatiaux, une bonne définition de l'objet et d'une échelle d'étude. L'effet de mode est aujourd'hui retombé et les SIG s'inscrivent durablement dans les démarches spatiales et font aujourd'hui partie de la boîte à outils de l'archéologue (Costa et Desachy, 2021).

Ainsi, nous rejoignons la vision de Marcos Llobera, qui plaide pour une exploration des potentialités de ces outils. Les SIG ne visent ni à construire des concepts spatiaux ni à apporter des réponses. Dans l'usage que nous en faisons, ils vont permettre de livrer d'autres perspectives de raisonnement et d'ouvrir vers de nouvelles questions, car c'est un outil qui bénéficie d'un potentiel évolutif. Les SIG sont devenus des outils essentiels pour la manipulation et l'intégration des données,

mais il existe des disparités entre la compréhension humaniste de l'espace et ce que le SIG est en mesure de modéliser (Lock and Pouncett, 2017).

1.4. - Conclusion

Cette première partie visait à identifier la notion de spatialité dans un contexte historique et méthodologique, et de relever les éléments probants pouvant servir d'appui à la mise en place d'un SIG. Cette question de la spatialité est bien présente dans les travaux d'art préhistorique – ce sont les structuralistes dans les années 1960 qui ont posé des bases méthodologiques nouvelles dans ce rapport humain/espace – mais aujourd'hui cette vision généraliste a évolué. De nouveaux aspects doivent être intégrés à toute démarche de traduction d'une organisation spatiale (temporalité, pluralité des vestiges ou encore rapport à l'espace et relief). Et comprendre une organisation spatiale des grottes c'est avant tout pouvoir en livrer une représentation. De ce point de vue, nous nous inscrivons dans une continuité de ces traditions graphiques : plans topographiques et relevés. L'enjeu est de s'appuyer sur ces sources graphiques pour croiser les informations. Pour cela, le 3D constitue un socle de travail incontournable en grotte, car il fournit les supports et les coordonnées sur lesquels la constitution d'un SIG en grotte repose.

Enfin, un tour d'horizon des travaux déjà présents en grotte et art pariétal a démontré le caractère novateur de la démarche, dont l'objectif est de répondre à la compréhension précise de la donnée étudiée par le préhistorien au travers des sciences spatiales. Ainsi le positionnement géomatique à adopter est au service de la compréhension des organisations humaines qu'elle soit préhistorique, mais également actualiste.

2.- DE L'ACQUISITION À L'ORGANISATION, GÉRER LES DONNÉES SPATIALES : L'EXEMPLE DE LA GROTTTE CHAUVET-PONT-D'ARC (ARDÈCHE, FRANCE)

2.1. - Introduction

Les grottes ornées préhistoriques sont des objets complexes et leur étude mobilise des spécialités disciplinaires diverses. Aujourd'hui, pour faciliter la collaboration entre ces différentes pratiques scientifiques, les acteurs de la recherche s'appuient sur l'approche intégrée. Cette approche traduit le besoin pluridisciplinaire et méthodologique d'aborder la grotte « [...] *approche résolument intégrée, qui prend soin de traiter chacun des objets étudiés dans son contexte – spatial, temporel, culturel –, et de considérer les paysages souterrains comme une construction mêlant faits naturels et actions anthropiques* » (Delannoy et al., 2020, p.345).

Dans cet environnement numérique actuel, des outils techniques novateurs offrent la possibilité de centraliser cette documentation multidisciplinaire. À la grotte Chauvet, les SIG, par leur capacité à réunir, à stocker des informations nombreuses, variées ont été déployés de manière précoce.

Le contexte numérique de ces dernières années et la demande des acteurs ont fait émerger de nouveaux besoins. Un webSIG va alors être mis en place pour répondre à cette dynamique collective de recherche et s'adapter aux contraintes liées au milieu souterrain. Ce dispositif amène une implication nouvelle de la part des chercheurs et est susceptible d'engendrer des changements de pratique.

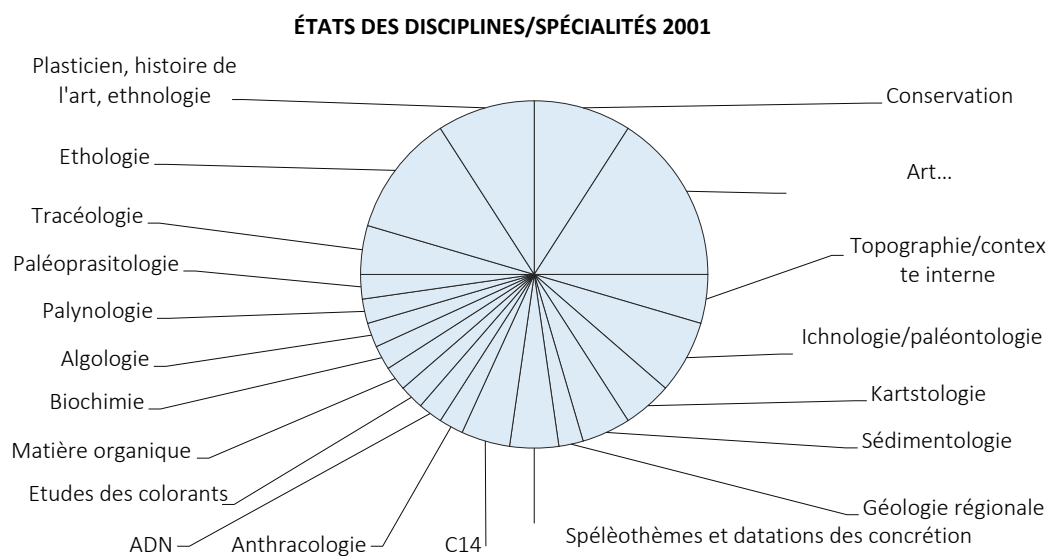
C'est la mise en place d'un outil géoweb et son impact sur une équipe de recherche qui vont pouvoir être questionnés. Nous reviendrons dans un premier temps sur les conditions de recherche dans la grotte Chauvet pour comprendre en quoi le basculement d'un SIG au webSIG est devenu nécessaire. Nous présenterons ensuite les enjeux, les choix méthodologiques ainsi que les apports de ces outils et les premières expériences d'utilisation. Dans une deuxième partie et dans une démarche réflexive, nous évaluerons l'influence de ce dispositif au sein des pratiques disciplinaires individuelles et collectives. Nous mobiliserons la théorie de l'acteur-réseau qui nous fournit un cadre d'analyse pour la construction d'un réseau sociotechnique. Enfin, nous mesurerons les acquis de cette nouvelle configuration impulsés par l'outil et nous identifierons les leviers d'action pour animer la dynamique interdisciplinaire.

2.2. - Un contexte de recherche : la grotte Chauvet

2.2.1. - Enjeux d'une recherche multidisciplinaire

Découverte en 1994 et étudiée depuis 1998, la grotte Chauvet-Pont d'Arc est une grotte ornée paléolithique située sur la commune de Vallon-Pont-d'Arc en Ardèche.

Grâce à de remarquables conditions de conservation, elle offre un terrain d'étude exceptionnel et a acquis une reconnaissance internationale. L'une de ses spécificités tient à l'ancienneté de ses manifestations graphiques (-36 000 ans), parmi les plus anciennes d'Europe occidentale (Clottes et *al.*, 1995a ; 1995b ; 1996 ; Valladas et *al.*, 2003 ; 2004 ; 2005 ; Geneste, 2005). Depuis sa découverte, l'ensemble de la communauté scientifique comprend la nécessité de la multidisciplinarité pour l'étude de la cavité dès le lancement de l'appel d'offres en 1996 : « *Même si, conformément à la loi française, l'opération ne peut être confiée nommément qu'à un seul responsable, il va de soi qu'elle ne pourra être conduite que par une équipe œuvrant de manière interdisciplinaire et associant les membres de diverses institutions* » (Delannoy et *al.*, 2020, p.383). Les recherches à la grotte Chauvet sont menées sous la direction de Jean Clottes (1998-2002), Jean-Michel Geneste (2002-2017) et depuis 2018 par Carole Fritz. Depuis le début de la mission archéologique en 1998, une vingtaine de chercheurs issus de disciplines variées sont mobilisés – archéologues, géologues, paléontologues, géochimistes, physiciens. Ce sont également une vingtaine de conseillers, de spécialistes, d'experts français et étrangers qui ont apporté leurs expertises à l'étude de la grotte (Graphique 1).



Graphique 1 – Nombre de représentants par discipline, retranscrit tel quel à partir du rapport triennal de 2001. Les disciplines sont extrêmement variées au début des premières années de campagne. Néanmoins certaines sont plus représentées en nombre de chercheurs (l'art préhistorique, l'étude de la faune, l'archéologie et le spectre géologique), L.Louman.

L'avancement de ces travaux multidisciplinaires sur la grotte Chauvet permet aujourd'hui d'attester de l'ampleur de cette découverte par une connaissance plus approfondie des comportements des premiers groupes du Paléolithique supérieur en Europe. Les travaux en art préhistorique répertorient plus de 426 manifestations graphiques comprenant une iconographie animalière très variée : mammoth,

rhinocéros, cheval, bison, lion, mégacéros, ours, chouette, bœuf musqué, bouquetin (Clottes, 1995c ; 2001 ; Delannoy et al., 2020 ; Gély et Azéma, 2005). Les études des premières salles et des panneaux de la seconde partie de la cavité ont mis en évidence la singularité des signes, dont certains sont propres à Chauvet, mais également la diversité des techniques employées (Baffier et Feruglio, 1998 ; Aujoulat et al., 2001 ; Feruglio et Baffier, 2005 ; 2007 ; Fritz et Tosello, 2005 ; 2015 ; Azéma et Clottes, 2008a ; 2008b ; Azéma, 2013 ; Clottes et Azéma, 2014). La grotte présente une grande diversité formelle et une importante mise en scène des figures dans l'espace (Tosello et Fritz, 2004 ; Azéma, 2009 ; Fritz et Tosello, 2015 ; Fritz, 2020). D'autres activités humaines, liées à la circulation, passage et fréquentation, sont également décrites grâce à la découverte d'empreintes de pas, mouchages, aménagements en pierre, dépôts d'objets, traces de colorants ou encore la réalisation de grands feux (Garcia, 1999 ; 2005 ; Le Guillou, 2005 ; Monney, 2009 ; Delannoy et al., 2012 ; Ferrier et al., 2014 ; 2017 ; Salmon, 2019). Les études sur la faune recensent de plus de 4500 ossements, mais aussi des bioglyphes (bauges, plages d'empreintes, polis de paroi et griffade) et démontrent l'importance de la cavité comme un lieu d'hivernation pour les ours des cavernes (Philippe et Fosse, 2003 ; 2015). De nombreux taxons ont été retrouvés, et les chercheurs ont identifié la présence du cuon et du loup (Fosse et al., 2018). Les travaux géologiques de la grotte ont permis de reconstituer ses configurations passées notamment l'âge de fermeture de la grotte – au moins 21.000 ans (Sadier et al., 2012). Les datations des dessins, charbons et ossements ont tenu une place majeure dans l'étude, ce sont aujourd'hui plus de 250 datations C14 qui ont été réalisées démontrant deux périodes d'occupation humaines : Aurignacien et Gravettien (Valladas et al., 2005 ; Bocherens et al., 2006 ; Quiles, 2014 ; 2016). De nombreuses autres datations et analyses physico-chimiques (d'Uranium-Thorium, ADN, anthracologiques) sont venues enrichir l'étude du contexte paléo-environnemental, et l'évolution chronologique (Genty et al., 2004 ; 2005, Théry-Parisot et al., 2005 ; 2018 ; Sadier et al., 2012). Ces recherches ont été publiées dans plusieurs ouvrages collectifs (Clottes et al., 2001 ; Delannoy et al., 2020).

Si les différentes spécialités disciplinaires travaillent sur des problématiques communes comme les relations anthropiques et environnementales ou animales, les approches méthodologiques sont systémiques et décroisées, car la grotte présente des phénomènes particulièrement entremêlés qui impliquent des approches croisées. L'étude d'une paroi peut comporter des phénomènes taphonomiques, des griffades et manifestations graphiques, se sont tour à tour les géoarchéologues, paléontologues et archéologues qui doivent alors apporter leur analyse. La gestion de cette documentation est primordiale, compte tenu de la quantité, de la diversité d'informations et du nombre de personnes amenées à

étudier la grotte : « *L'organisation pratique de notre travail a veillé à assurer les liaisons nécessaires, le partage des connaissances et l'harmonisation des recherches.* » (Clottes et al., 2001). Par ailleurs, les conditions de la recherche sont amenées à évoluer dans le temps et il est important de conserver cette connaissance scientifique pour la transmettre. L'un des axes à développer est le partage d'informations et l'harmonisation des connaissances pour constituer une documentation pérenne et accessible à l'ensemble des membres étudiant la grotte aujourd'hui et dans le futur.

Les outils ont une place centrale dans l'accompagnement de cette démarche interdisciplinaire, ils permettent de créer des passerelles entre les disciplines et de fluidifier la connaissance commune : « *Le développement du numérique ouvre de nouveaux champs, instituant un parcours entre pluridisciplinarité et interdisciplinarité* » (Blin, 2019, p.1). Ils renforcent la communication et favorisent le partage d'informations. Comme le mentionnait déjà Jean Clottes, cette multidisciplinarité vise un transfert et une confrontation des approches et peut entraîner des transferts méthodologiques. C'est au contact de nouvelles disciplines que chacune peut s'enrichir ou au contraire de renforcer leur positionnement. Aujourd'hui, on mesure le bénéfice de ces supports d'acquisition transversaux pour la recherche collective. Et c'est en trouvant des moyens d'échange et de croisements analytiques des données, que cet élan doit se poursuivre.

2.2.2. - La grotte soumise à des conditions de recherche

Les conditions de recherche en grotte ornée sont soumises à de nombreuses difficultés de terrain. C'est un milieu humide qui peut atteindre 98 % de taux d'humidité, c'est aussi un espace plongé dans le noir où la lumière naturelle est absente. L'accès et la circulation sont contraints et limités. Emporter du matériel informatique et travailler dans cet espace est délicat. Ces conditions sont toutefois variables d'une grotte à l'autre, mais il faut adapter des outils et déployer des moyens conséquents pour observer l'information (lumière, photographie).

La grotte Chauvet présente ces difficultés d'études. Sa température est autour de 12 à 13 degrés, l'accès se fait par une chatière située à 10 m au niveau du plafond de la salle Brunel. Excepté cet accès d'entrée et les diverticules et galeries secondaires, elle ne présente pas de vraies difficultés de circulation : le niveau de sol possède peu de variation et le sens de circulation est relativement naturel pour se rendre vers le fond de la grotte.

Elle est dans un état exceptionnel de conservation. C'est afin de sauvegarder cet état de fraîcheur pour les décennies à venir que des mesures conservatoires

adaptées ont été appliquées. La grotte a bénéficié de la connaissance conservatoire de ces dernières décennies. Le déploiement d'un suivi climatique et microbiologique pour contrôler la circulation d'air et la présence de CO₂ a été créé (Baffier, 1998 ; 2020). Elle a par ailleurs fait l'objet de mesures de classement et de protection juridique. Elle est classée aux monuments historiques depuis 1995 et est inscrite au patrimoine mondial de l'UNESCO en 2014 (Bardisa, 2020). La réglementation concerne également la recherche et prévoit des conditions d'accès limitées afin de ne pas mettre en danger l'équilibre de la grotte. Les mesures impliquent un protocole pour gérer les temps de recherche : il est inférieur à 6 heures par jour et doit être optimisé. Ce protocole protège les visiteurs de l'exposition au radon et au CO₂, qui peut dépasser 2,5 % dans le fond de la grotte, à certaines périodes de l'année.

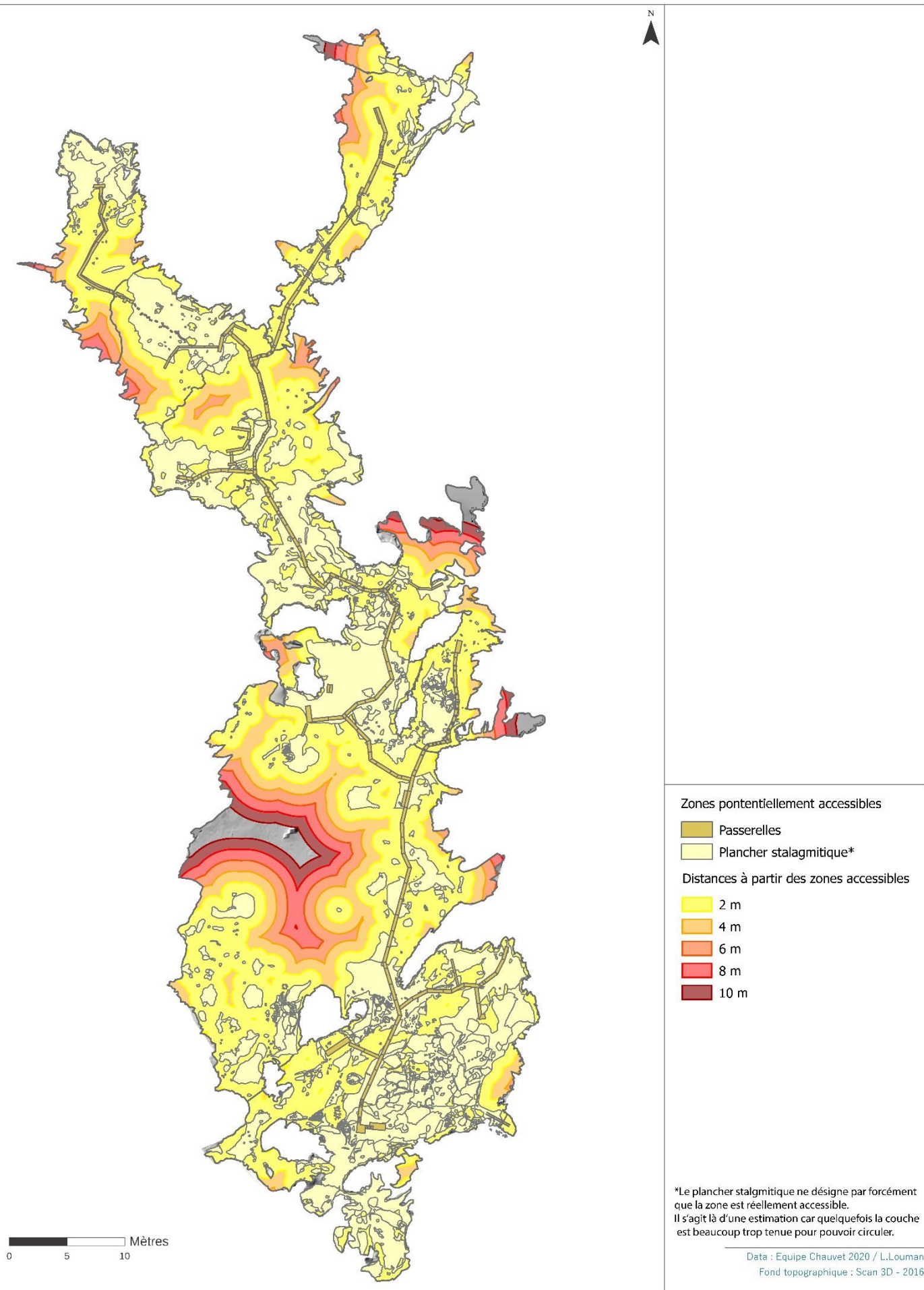
Par ailleurs, les sols de la grotte Chauvet sont en partie meubles, les empreintes humaines et animales sont encore fraîches et bien visibles sur les sols argileux (Figure 8). Toute circulation risquerait de les endommager. Pour leur préservation, des aménagements temporaires ont été déployés : ce sont 350 mètres de passerelles en métal qui sont installées sur le cheminement primaire et secondaire de la grotte sur une surface de 60 centimètres – elles sont légèrement plus larges sur les zones d'intérêt. Des passerelles temporaires ou karrimat sont ponctuellement ajoutés pour effectuer des prélèvements ou pour s'approcher des parois. La grotte possède des zones où les sols sont calcités et endurés. Ces zones marquées par la présence d'un plancher stalagmitique permettent, quand le plancher est suffisamment épais, une circulation sans risque d'impact pour le sol. Pour se rendre compte des distances d'étude en fonction des zones d'accessibilité une cartographie a été réalisée (Carte 1). La carte met en évidence les distances par rayon de 2 mètres autour des aménagements temporaires et des planchers stalagmitiques. La couche des planchers stalagmitiques a été cartographiée par les géomorphologues lors de la réalisation de la cartographie géomorphologique (Delannoy et *al.*, 2001a ; 2001b ; 2005 ; 2020). La carte ci-dessous reste cependant une « *estimation* », car tous les sols calcités et endurés n'impliquent pas une circulation. La calcite est parfois fragile et friable et les déplacements endommageraient le sol. Il s'agit donc d'une estimation maximale, mais l'accès à l'information est encore plus limité y compris dans les zones où les plafonds sont bas. À travers cette cartographie, on observe néanmoins les conditions d'accessibilité à la donnée qui sont variables d'une salle à l'autre. Dans certaines zones, les sols se situent jusqu'à une distance de 10 mètres de la passerelle. L'accès à la connaissance de la grotte n'est donc pas homogène. Au-delà de 2 mètres, les données sont difficiles à observer.

Compte tenu de ces contraintes – conditions de lumière, d’humidité, d’accès limité au terrain, et de la distance des d’objets d’étude –, l’observation, la saisie et l’enregistrement de ces données pour la recherche restent une préoccupation permanente. Accéder aux zones d’étude éloignées des axes de circulation est difficile. Même si la grotte est aujourd’hui accessible, les conditions d’accès à l’observation et à l’information sont délicates. Il est alors nécessaire de se demander comment faciliter l’enregistrement de ces informations. De ce fait, les outils technologiques occupent une place primordiale dans l’assistance de la recherche en grottes ornées. La photogrammétrie, par exemple, facilite les observations des parois en dehors du terrain. Mais la levée de coordonnées plus précises pose des difficultés, car elle nécessite l’utilisation d’une station totale. C’est un équipement lourd, qui doit être stabilisé dans le sol et qui convient peu à la configuration en grotte. S’il est installé sur la passerelle, ce matériel est soumis aux vibrations du passage. L’acquisition de coordonnées via ce système reste problématique. L’enjeu est alors de trouver des alternatives pour permettre la cartographie d’éléments de manière précise et en adéquation avec les conditions de terrain.



Figure 8 – Etat de surface des sols, Rivière d'os, Salle des Bauges, Grotte Chauvet (Ardèche), C.Fritz et P.Fosse – ministère de la Culture.

DISTANCES DE RECHERCHE À PARTIR DES ZONES ACCESSIBLES



Carte 1 – Estimation des distances à partir des passerelles et planchers stalagmitiques, L.Louman.

2.2.3. - Le SIG : une solution adaptée amenée à évoluer

Le SIG a donc été envisagé très tôt dans la grotte ornée comme un mode d'application et de centralisation de l'information. Le projet de création d'un système d'information géographique à Chauvet débute dès 2007 (Aujoulat, 2007). Il est porté par Norbert Aujoulat, ingénieur de recherche au ministère de la Culture (Centre National de Préhistoire). L'objectif est de procéder à un inventaire spatialisé, par spécialité, des éléments présents dans la cavité. Il répond à plusieurs besoins : centraliser les données, les localiser au sein de l'espace, analyser et croiser les informations.

Les SIG étaient fréquemment employés dans les fouilles programmées et préventives, mais ils n'avaient jamais été intégrés dans la recherche en grotte ornée. C'est à la grotte Chauvet que ce premier projet voit le jour, elle fait alors office de grotte laboratoire, nécessitant une importante réflexion sur la structuration de l'information. Sa mise en place s'intègre à une démarche entreprise en 1998, par les géomorphologues, qui ont cartographié les sols¹⁰ pour comprendre le fonctionnement actuel et passé de la cavité (Delannoy et *al.*, 2001a ; 2001b). La carte géomorphologique repose sur un important relevé, dans une démarche inventaire et collaborative (Delannoy, 2005). Cette approche va impulser le déploiement d'un SIG, étendu à l'ensemble des disciplines. Parallèlement à ce travail, la grotte a fait également l'objet de travaux topographiques et de campagnes de scan qui ont permis de créer un premier fond de plan. Des phases de relevés de terrain ont été réalisées par François Rouzaud, Yannick Le Guillou et Frédéric Maskud et deux opérations de scan 3D par le cabinet Pérazio de 2010 et 2016, offrant alors de nouveaux supports de travail. Ces fonds topographiques montrent avec précision les variations de niveaux, les blocs et les objets. La création de ce document conditionne fortement l'émergence du SIG qui servira de support pour restituer la position de l'ensemble des données géographiques.

Ce contexte de recherche multidisciplinaire entraîne l'équipe à envisager l'utilisation des systèmes d'information géographique et leur potentiel est attendu pour centraliser la diversité de l'information produite par les chercheurs de chaque discipline. Ainsi, dès 2009, une première version du SIG est réalisée sous le logiciel ArcGIS, les données géographiques sont regroupées dans une géodatabase propriétaire (Geneste et *al.*, 2009). Ce travail important est mené par Julien Monney, Élisa Boche et ensuite par Estelle Ployon, il donnera lieu à plusieurs publications (Boche et *al.*, 2010 ; 2014 ; Ployon et *al.*, 2020). Les bases de l'information

¹⁰ La carte géomorphologique a été mise en place par cinq chercheurs (Évelyne Debard, Jean-Jacques Delannoy, Catherine Ferrier, Bertrand Kervazo et Yves Perrette) de 2000 à 2005.

géographique de la cavité reposent sur les données topographiques et des données géomorphologiques notamment grâce à la cartographie souterraine. Ce travail de collecte se poursuit par l'enregistrement de nombreuses données : emplacements des prélèvements, échantillonnages, données paléontologiques, anthropiques, sectorisation de l'espace, emplacements des panneaux ornés ou aménagements de l'espace. Une grande partie de ces données est intégrée au SIG dès 2009 et complétée par les acquisitions des missions successives. Cet important travail de collecte, d'enregistrement et d'organisation des données a posé le socle du SIG.

La pluralité des données collectées à Chauvet a permis de créer une arborescence organisée des principales thématiques de l'étude des grottes ornées. Ce travail considérable d'enregistrement fournit un modèle type d'organisation des données pour l'ensemble des grottes ornées (projet porté par le Centre National de Préhistoire). Le travail de collecte effectué pour la mise en place du SIG s'est concrétisé avec la publication d'un atlas collectif en 2020 (Delannoy et *al.*, 2020). Cet ouvrage collectif porte un nouveau regard sur le travail accompli par cette recherche pluridisciplinaire et dresse le bilan des acquisitions de ces dernières années, au travers des différents secteurs de la grotte. S'appuyant alors sur la carte géomorphologique, un premier bilan des secteurs et des données qui composent la grotte a pu être exposé au grand public.

Depuis une dizaine d'années, les besoins de l'équipe en termes d'informations spatiales ont évolué. L'utilisation des données géographiques se limite à des cartes de répartition sans pour autant croiser les informations. Or de nouveaux besoins sont apparus en matière de gestion des données, de traçabilité des sources et de propriétés de la donnée. Les attentes doivent être redéfinies pour adapter le rôle et la place du SIG au sein de l'équipe. Ce constat a fait apparaître la nécessité d'acquérir un outil plus adapté d'une part à la gestion interdisciplinaire, qui correspond aux véritables besoins de cette équipe afin que les chercheurs aient un regard plus direct sur la réalité des données et de l'ensemble des thématiques. Pour cela, l'outil doit être compatible avec la réalité de la recherche, mais également aux conditions de terrain.

Le SIG, dans son format bureautique, sans serveur cartographique, limite la transmission d'informations entre les membres de l'équipe. Les solutions logicielles classiques restent aujourd'hui complexes et peu intuitives pour un non-spécialiste et des connaissances de base sont requises pour pouvoir consulter les données. Ce sont aussi des mises à jour qui ne peuvent pas se faire simultanément, ce qui favorise les démarches individuelles et une coordination complexe pour une équipe dispersée sur le territoire. En théorie, dans son format local un SIG concourt à une mise en commun de l'information, cependant, d'un point de vue pratique, la démarche

interdisciplinaire n'est pas opérante, car les acteurs n'ont pas de visibilité sur les données spatiales acquises. Actuellement, les chercheurs sont obligés de solliciter une personne intermédiaire pour effectuer une simple modification. Ce système n'est pas efficace pour une étude en cours et est amené à évoluer.

Ce travail montre la nécessité d'aller plus loin dans la cartographie des données afin qu'elles soient aisément consultables et mises à jour par l'équipe de recherche. L'outil doit accompagner les chercheurs lors de leur collecte en grotte et c'est de cette façon qu'ils seront impliqués dans cette démarche collaborative.

2.3. - Cadre méthodologique

2.3.1. - Faire évoluer un dispositif cartographique : le géoweb

L'une des solutions envisagées pour rendre le SIG accessible provient du géoweb. Cette nouvelle pratique, par le biais d'internet, permet de partager, de saisir et de diffuser l'ensemble de l'information spatiale sans les contraintes techniques des suites logicielles.

L'arrivée d'internet et du web, dans les années 2000, marque un virage dans l'usage des données géographiques. L'accès de Google Maps en 2005, modifie les habitudes de déplacements et des pratiques spatiales. L'information spatiale prend une nouvelle forme sur un format web et devient accessible à une plus grande communauté d'utilisateurs (Joliveau et *al.*, 2013). De ce phénomène, appelé géoweb ou néogéographie, apparaît une diversité de pratiques qui coexistent avec la géographie traditionnelle (Di-Ann, 2006). Le web s'ouvre alors à un nouvel environnement cartographique interactif et multimédia plus largement distribué « *The added value of these Géoweb 2.0 services is the possibility for users to manipulate geospatial data (external or personal), to produce and distribute contents, or even to develop their own tools (converter, widget, layer management, etc.)* » (Roche et *al.*, 2012, p.267). L'accès à de nouvelles fonctionnalités offre des perspectives collaboratives. D'après Matthieu Noucher, ces fonctionnalités reposent sur trois processus complexes : la communication, la coopération et la coordination (Noucher, 2010). Les utilisateurs, désormais producteurs de contenus géographiques, communiquent à travers un médium commun : la carte. Elle se matérialise comme un espace de travail partagé, une source de connaissance dynamique que les utilisateurs sont amenés à s'approprier et à faire évoluer.

Les formes prises par le géoweb sont fortement imprégnées des systèmes wiki, où les utilisateurs participent à l'élaboration d'une connaissance commune non centralisée (Joliveau, 2011 ; Roche et *al.*, 2012). La remontée et la diffusion d'informations sont pensées selon un système bottom-up. Les utilisateurs

consultent et créent les données qu'ils font remonter. L'information localisée peut alors être changée, enrichie, mise à jour, synchronisée tout en conservant les traces numériques du suivi des modifications. La cartographie participative, ou collaborative s'intègre dans de nouveaux champs de recherche comme la concertation urbaine et citoyenne (Mericskay, 2011 ; Mericskay et Roche, 2011 ; Noucher et *al.*, 2018).

Les SIG, dans cette configuration, peuvent être considérés comme une composante organisationnelle à part entière, s'apparentant à une construction sociale. C'est un nouveau mode de fonctionnement qui se met également en place dans les entreprises publiques et privées. Dans les entreprises, les SIG collaboratifs sont placés à l'interface du partage de la connaissance et deviennent stratégiques par leur positionnement entre les différents services. Par ailleurs, les distributeurs de logiciels facilitent les applications pour le développement de ce type de système. Le dialogue et l'échange d'informations sont alors possibles entre les agents présents sur le terrain et les géomaticiens.

Cette transition géonumérique ne s'arrête pas au progrès de l'information spatiale, mais bouleverse plus largement l'ensemble des moyens de communication, de diffusion de l'information et de la connaissance. La recherche en science humaine et sociale s'interroge alors sur l'impact du web 2.0 dans les modifications des objets et pratiques de la recherche. L'introduction de nouveaux outils et la large diffusion du web autorisent le traitement en masse de l'information (Big Data, traitement automatique des langues, SIG). Les chercheurs se saisissent de cette opportunité offerte par le numérique dans la communication et la diffusion de l'information, pour envisager de nouvelles problématiques.

Les outils emblématiques du géoweb sont alors les webSIG. Ce sont des systèmes d'information géographique partagés sur internet où les données spatiales sont hébergées sur un serveur web cartographique. Le webmapping est également une interface du géoweb, elle permet de réaliser des cartographies interactives et dynamiques accessibles par un moteur de recherche. Les informations de ces cartes reposent sur des fonds dynamiques sans limites d'emprise où il est possible de naviguer dans l'affichage et de sélectionner de l'information. L'utilisateur devient alors acteur, car il va aller chercher l'information et interagir directement avec la carte. Ces outils de cartographie sur le web sont beaucoup plus accessibles. Ils présentent des interfaces très simplifiées souvent réduites à quelques options. Elles apparaissent beaucoup plus intuitives aux utilisateurs qui n'ont pas besoin d'être formés pour les utiliser (Alinat, 2017 ; Louman, 2017).

2.3.2. - Le géoweb et l'archéologie

L'archéologie déjà utilisatrice de ces technologies a naturellement trouvé dans le géoweb une réponse à la diffusion de l'information spatiale.

Dès les années 2000, les webSIG et le webmapping apparaissent dans les publications. Les archéologues remarquent un avantage technique à l'utilisation des SIG : ils assistent à l'enregistrement des données de terrain tout en répondant aux problématiques de recherche. Dans cette continuité, le géoweb a légitimement trouvé une place dans les problématiques en sciences humaines et sociales (Koehler et Tufféry, 2012). L'observatoire « GeoPratiq » créé par Laurent Costa observe les diverses formes et stratégies mises en place par les archéologues, à différents niveaux d'échelle, pour des problématiques orientées vers l'analyse spatiale et l'archivage d'information (Costa, 2010 ; 2012). Le webmapping est alors une composante utilisée pour la réalisation de portails cartographiques collectifs avec des équipes géographiquement dispersées. Les méthodes sont orientées vers l'enregistrement de terrain, en amont de la collecte de données, ou bien le webmapping est mobilisé après l'étude pour une consultation des données acquises (Álvarez et *al.*, 2019).

De nombreux dispositifs se mettent en place pour la collaboration entre laboratoires de recherche en archéologie préventive et programmée. Cela se manifeste par la création de géoportails régionaux ou nationaux qui font également l'objet de politique culturelle de plus grande envergure (carte archéologique) (Chaumet, 2008 ; Djindjan, 2008 ; Pinçon, 2008b ; Briquet, 2012 ; Vatin et Bianchi, 2014 ; Cannavo et Fadin, 2016). Le webSIG est alors employé dans des perspectives d'échanges, de rassemblement, d'archivage et de diffusion de l'information spatiale archéologique. Les destinataires de ces portails sont également à des échelles variables. Quelquefois à l'échelle du grand public, du laboratoire, ou ponctuellement pour un programme commun de recherche. Il existe aujourd'hui des plateformes OpenData comme ArkeoGis du consortium MASA. Ce site centralise plus d'une centaine de bases de données spatialisées mobilisables en lien avec l'archéologie, l'environnement ou l'histoire (Loup, 2020). Ce type de démarche reste encore très isolée en archéologie. À côté de ce déploiement, les GPS et les applications mobiles apparaissent aussi dans les pratiques de terrain pour enregistrer le résultat des prospections pédestres ou les inventaires de sites (Brovelli and Magni, 2003 ; Prinz, 2014 ; McDonald et *al.*, 2016 ; Poirier et *al.*, 2017 ; Álvarez Larrain, 2019). Ces deux approches complémentaires nécessitent cependant un traitement entre les phases d'acquisition. Ces deux types de solutions renvoient en réalité à deux objectifs et temporalités distinctes : les applications mobiles, les GPS sont orientés vers

l'acquisition de données sur le terrain alors que les catalogues et atlas s'orientent vers une diffusion et restitution de l'information spatiale acquise.

2.3.3. - Vers une définition des besoins

Le projet de plateforme cartographique sera accessible à une communauté d'utilisateurs, mais limité aux membres de l'équipe de recherche. La vocation de ce dispositif est d'assister la recherche en cours pour permettre la consultation des données et des informations contenues dans les couches géographiques.

Rendre le SIG accessible implique une solution, celle du web afin que l'accès se fasse directement par le biais d'un moteur de recherche. Mais cette accessibilité à l'utilisation de l'outil suppose aussi moins de contraintes techniques qui sont pour le moment un frein à son usage. C'est pourquoi les fonctionnalités et les paramètres doivent rester intuitifs, pédagogiques et simples.

Les chercheurs sont amenés à acquérir, modifier, remplir des données cartographiques directement sur le terrain. Ils doivent pouvoir être autonomes dans leur collecte sans dépendre d'une compétence : cartographier par eux-mêmes les objets et les zones étudiées, intégrer des prises de vue et des annotations diverses. Le webSIG et ces données pourront être consultés en grotte pour confronter les informations disponibles à la réalité du terrain et poursuivre les acquisitions *in situ*. Il est à noter que l'accès à internet est impossible en grotte. Les données produites sont sécurisées et réservées uniquement aux membres de l'équipe de recherche. L'accès au dispositif cartographique doit être alors restreint. Le suivi des métadonnées reste disponible et doit assurer la traçabilité de l'information. La norme XML ISO 19139 donnée par la directive INSPIRE est privilégiée. Par ailleurs, la mission de recherche est en cours depuis 20 ans et se poursuit dans la seconde partie de la grotte. La recherche à la grotte Chauvet est limitée dans le temps et doit être considéré dans la mise en place de l'outil et de sa pérennité. La définition des besoins est synthétisée en 5 thématiques (Tableau 1).

La solution technique doit permettre de créer une plateforme collaborative et suppose que l'utilisateur interagisse avec le dispositif. Depuis une vingtaine d'années, les solutions de webSIG sont multiples sur le marché (Figure 9). L'offre en serveurs cartographiques et API, est plurielle avec des solutions libres comme Geoserver, Map serveur et des solutions propriétaires comme par ArcGIS Server. Ils existent également des solutions comme des API et bibliothèque orientée client qui permettent également d'afficher les données géographiques. Ces solutions plus légères sont cependant plutôt adaptées à la visualisation et à la consultation d'informations.

Définition des besoins et fonctionnalités

- Gestion individuelle et partage d'information : l'une des principales limites du SIG au format bureautique est le partage d'information. Sans serveur, l'échange d'information s'effectuait par copie des couches géographiques. Le passage à un webSIG permet désormais d'observer les modifications réalisées par l'ensemble des utilisateurs. L'état du SIG est disponible en temps réel et aucune copie n'est nécessaire pour visualiser les dernières mises à jour.
- Travailler simultanément sur les mêmes couches géographiques : l'une des difficultés dans la collecte d'information par spécialité est que plusieurs utilisateurs sont amenés à remplir les mêmes couches géographiques. Le webSIG permet de travailler n'importe où et simultanément sur une même couche géographique. En cas de modification de la même donnée, l'heure et la date sont un point de référence pour la modification.
- Saisie des données dans la grotte : précédemment, la saisie et/ou les modifications se faisaient obligatoirement à l'extérieur de la cavité. Cela nécessite un travail d'acquisition et de transformation des données acquises. La saisie directe dans le SIG arrive au début de l'étude dès la phase de terrain. La précision des fonds de cartes étant suffisamment satisfaisants pour distinguer les artefacts et relever des zones d'études.
- Suivi des métadonnées manuelles : la gestion des métadonnées était autrefois mise à jour manuellement. Aujourd'hui, bien qu'elles continuent à être renseignées par couche. Les métadonnées sont également présentes dans un champ dédié. Ce qui permet d'avoir un suivi permanent du dernier utilisateur ayant effectué la modification ainsi que la date. La traçabilité est alors plus précise et facilite la transparence.
- Interface et prise en main par non-spécialistes : l'un des points névralgiques dans l'utilisation du SIG consiste à ouvrir l'accès aux utilisateurs non spécialistes de l'information spatiale. Pour répondre à ce besoin, l'interface a été simplifiée et seules les fonctionnalités basiques ont été conservées (outils de mesure, requêtes, impression, légende). La carte interactive présente, par ailleurs, une interface plus familière et une utilisation instinctive permettant un usage plus simple.

Tableau 1 – Synthèse des définitions des besoins

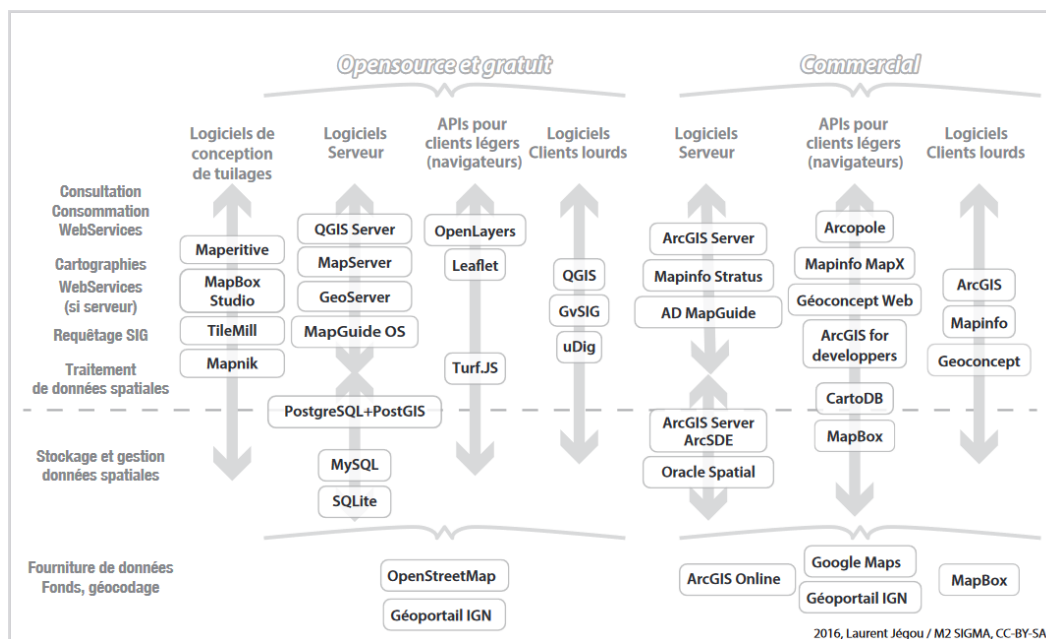


Figure 9 – Type de solutions Webmapping et serveurs cartographiques (Jégou, 2016).

Le choix des solutions à adopter repose sur une bonne identification des besoins, des moyens financiers, du temps dédié au projet ainsi que des ressources humaines. Ce sont des conditions préalables qu'il faut bien identifier. Les solutions libres sont privilégiées par le ministère de la Culture depuis les années 2000 notamment pour des questions budgétaires et d'interopérabilités. Ces solutions libres s'intègrent, par ailleurs, dans l'ère de l'open data et des directives européennes. Elles sont certes engageantes et éthiques. Cependant elles mobilisent plus largement de nombreuses compétences de développement, d'adaptations et moyens humains conséquents pour coller au mieux aux besoins des utilisateurs. Ces projets de développement sont généralement des portails de grande ampleur qui ne sont pas en adéquation avec une utilisation ponctuelle de moins de 20 utilisateurs. Sur le marché, ce type de déploiement atteint généralement plusieurs milliers d'euros. Pour poursuivre sur des solutions libres, les cartes interactives avec des API pourraient être une solution. Elles sont rapides à mettre en place pour la consultation d'informations sur le terrain. Cependant, leur consultation nécessite un accès internet qui ne fonctionne pas dans la grotte et limite alors leur usage sur le terrain. Leur fonction est souvent employée pour des visualisations d'informations auprès d'un large public.

La solution envisagée est propriétaire, c'est une solution clef en main. Le choix s'est porté sur ArcGIS Server, qui présente l'avantage de proposer une importante puissance de calcul et d'affichage tout en restant facile d'accès. ArcGIS Server intègre un serveur et des passerelles de données accessibles autant sur des solutions desktop (ArcGIS, Arcpro) qu'en ligne (ArcGIS Online). Le principal obstacle à ArcGIS Serveur, au-delà de son aspect propriétaire, est surtout le coût financier qui reste extrêmement élevé et inenvisageable dans le cadre d'une équipe de recherche.

Cependant, nous avons bénéficié du soutien de la TGIR Huma-Num, qui disposait déjà d'un serveur ArcGIS. Le serveur ArcGIS est déjà partagé par des utilisateurs d'autres unités de recherche. Ainsi, un espace de travail dédié à l'étude de la grotte avec un accès restreint a été ouvert sur le serveur d'Huma-Num. Une telle solution répondait aux besoins immédiats de l'équipe de recherche. Il a permis d'héberger les couches géographiques du SIG Chauvet acquises durant les opérations archéologiques depuis sa mise en place en 2009. Cette solution a été la plus rapide à mettre en œuvre, car l'architecture et le déploiement sont déjà en place. Le travail a consisté d'une part à migrer les données vers le serveur et ensuite à configurer les applications plus fonctionnelles à l'attention des membres de l'équipe. Cette solution intermédiaire est opérationnelle.

2.3.1. - Mise en pratique

Le choix de l'application ArcGIS Entreprise avec le serveur a été déjà déployé par Huma-num. L'ensemble des couches présentes dans une geodatabase a été normalisé et restructuré avant d'être migré sur le serveur. Des domaines ont également été créés afin de disposer de menu déroulant pour la saisie d'informations. Les métadonnées ont été actualisées à ce moment-là. L'intégralité du contenu SIG précédemment produit a été basculée sur le serveur cartographique grâce au statut de « *publication* ».

Les couches ont été publiées par le biais ArcGIS Pro sur le serveur. Une quinzaine de comptes ont été par la suite créés avec le statut « *utilisateur* » et donne ainsi un accès privé à un groupe dédié à la grotte Chauvet.

Une fois les couches publiées sur le serveur, il est possible de configurer des interfaces à partir de cartes web afin de permettre l'accès aux données du serveur. La suite ArcGIS Online offre alors de multiples formes d'applications (cartes web, catalogue d'images, dashboard) pouvant s'adapter aux besoins des utilisateurs).

Afin de répondre de manière précise aux besoins de l'étude de la grotte, deux types d'interfaces ont été mises en place, elles répondent chacune à des attentes ciblées et s'adaptent aux modalités de travail. Ces applications reliées directement au serveur, se synchronisent une fois les modifications effectuées.

Chacune des interfaces renvoie à des fonctionnalités précises (Figure 10). Les applications métiers comme Collector permettent de faire de la saisie sur le terrain, sans connexion internet, les modifications se stockent en local et il faut resynchroniser les données une fois les mises à jour terminées. L'application GeoData Chauvet est l'interface principale, elle est adaptée à la consultation en laboratoire pour mettre à jour les données, faire des mesures et des requêtes

simplifiées, intégrées du contenu (multimédia, pdf, photo). L'ensemble de ces interfaces est supporté par des smartphones, tablettes et pc.

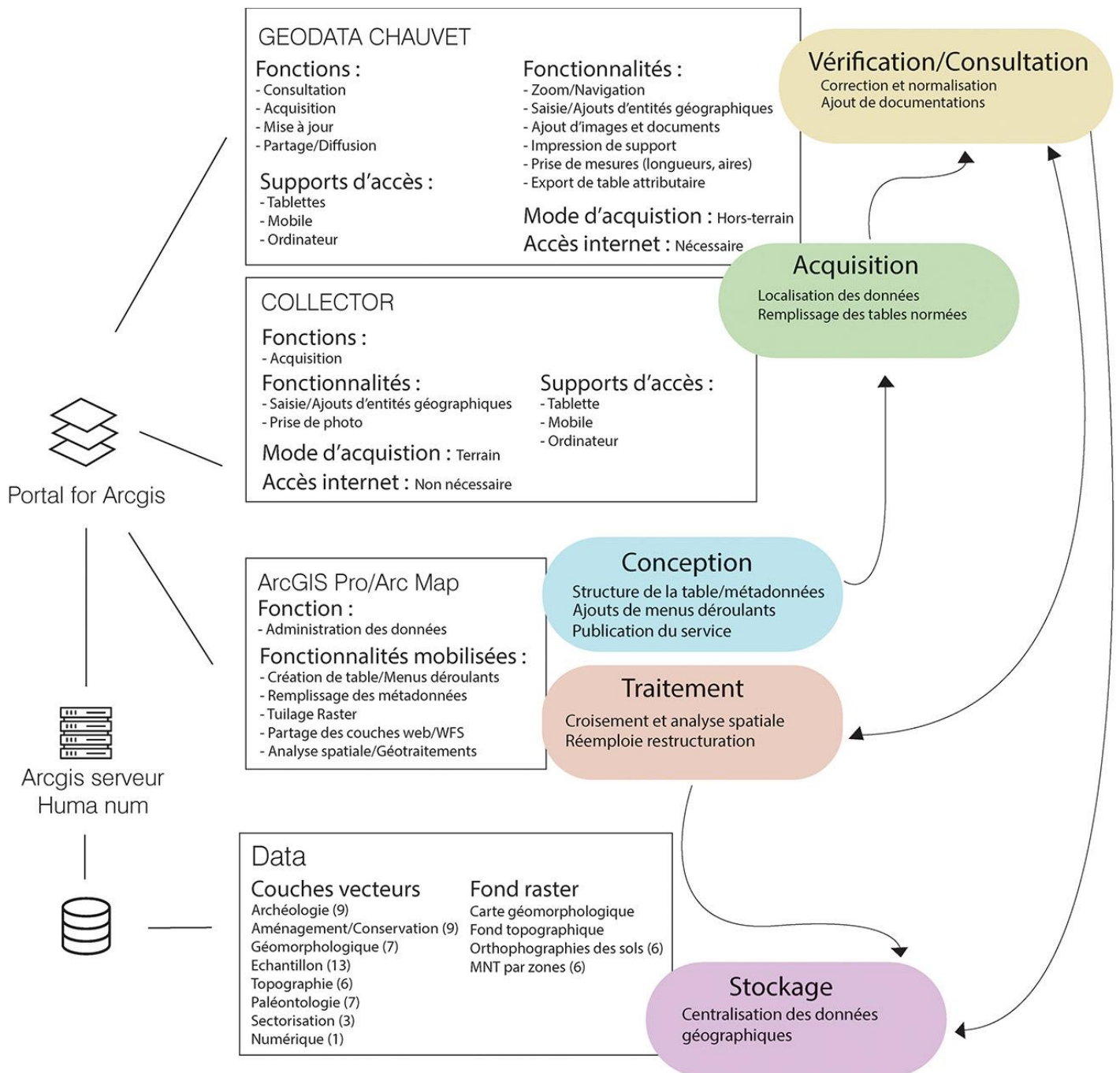


Figure 10 – Schéma conceptuel de la gestion de l'information spatiale (Louman et al., 2020).

Le SIG actuel de la grotte Chauvet regroupe 55 couches géographiques. Elles résultent des acquisitions passées (2009-2019) et des dernières acquisitions effectuées suite à la mise en place du webSIG en 2019. Le SIG est organisé en sept thématiques préconisées par le Centre National de Préhistoire :

- **Équipement/Conservation** : comprenant les aménagements comme la localisation des passerelles ou les résultats de prélèvement microbiologiques du Laboratoire de recherche des monuments historiques.

- **Prélèvement/Échantillonnage** : rassemble les prélèvements effectués et les résultats, les datations ^{14}C ou pour la palynologie.
- **Archéologie/Art préhistorique** : emplacement des dessins, artefacts, lampe et de l'ensemble des traces anthropiques volontaires et involontaires.
- **Géologie/Géomorphologie** : les couches issues du travail de cartographie de la morphologie souterraine.
- **Ichnologie/Paléontologie** : emplacement des empreintes, ossements et pistes de circulation.
- **Sectorisation/Topographie** : répartitions des principales salles et divisions de l'espace. Elles comprennent les limites topographiques des parois et du sol de la grotte.
- **Numérique** : suivi des acquisitions numériques, des couvertures photos et acquisitions photogrammétriques.

Le SIG regroupe des entités géographiques diverses présentant aussi bien des symboles ponctués (ossements, manifestations graphiques, prélèvements) que des polygones pour les états de surface et les zones d'activités (plages d'empreintes, bauges à ours). Il existe deux types de couches géographiques, les premières fermées à l'édition, car la collecte est terminée (elles restent consultables). Les secondes sont en cours d'acquisition, complétées lors des missions archéologiques ou du travail post-mission. Chaque couche géographique dispose de métadonnées assurant la traçabilité des membres ayant collaboré à l'étude et à l'enregistrement de l'information géographique.

Les fonds topographiques sur lesquels reposent les données géographiques sont pluriels : carte géomorphologique de la cavité, résultat du travail des géomorphologues ; ombrage du modèle numérique de terrain (MNT), réalisé à partir des opérations lasergrammétriques ; orthophotographies des sols et modèles numériques de terrain, créés à partir des photogrammétriques des sols de la grotte (Figure 11).

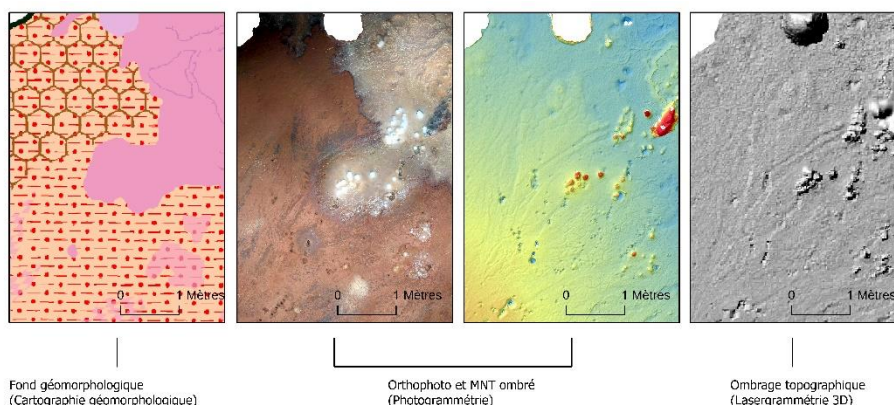


Figure 11 – Fonds cartographiques disponibles. L'encart est un zoom de la partie bord de la salle Brunel. Fond géomorphologique d'après le travail de J.-J.Delannoy, C.Ferrier, E.Debart. B.Kerzavo ; Orthophoto et MNT ombré, d'après l'acquisition et le traitement de A.Laurent ; ombrage topographique d'après le scan laser Pérazio, 2016 (données équipe Chauvet), L.Louman.

Rendre le SIG accessible est un enjeu majeur conditionnant la mise en place du géoserveur. À Chauvet, le chercheur doit avoir un regard direct et critique sur les acquisitions des vingt dernières années sans que les compétences techniques limitent sa démarche. L'ensemble des membres de l'équipe de recherche doit par exemple pouvoir aisément consulter la date, la localisation et le résultat d'un prélèvement, ayant été réalisés quelques années auparavant. La création de l'interface est axée sur l'utilisation de fonctionnalités simples et basiques, pour permettre au chercheur de naviguer librement et s'approprier ce nouvel espace de travail. Le SIG en ligne est principalement consultable sur l'interface web (GeoData Chauvet), mais les couches restent mobilisables via un lien WFS (Web Feature Service) et sont administrées par les applications bureautiques ArcMap/ArcGIS Pro. Le webSIG est accessible grâce à un navigateur internet. Des identifiants sont créés pour chaque membre de l'équipe, leur garantissant un accès sécurisé. L'interface de base GeoData Chauvet est configurée grâce à Web AppBuilder, une application WYSIWYG (« what you see is what you get »). Il s'agit d'une interface HTML permettant de travailler sur les données hébergées à partir d'une carte numérique créée préalablement sur ArcGIS Online. GeoData Chauvet fonctionne sur Android, iOS, tablette et ordinateur. L'interface et les fonctionnalités sont adaptées aux différents besoins de l'équipe de recherche. Les couches sont regroupées en sept thématiques (icônes) et peuvent être ouvertes une à une. Chaque couche comporte des nombres variant de trois entités pour la couche « *soutirage* » à plusieurs milliers d'entités pour la couche « *ossements* ». Les informations relatives à chaque entité – type, forme, date d'acquisition, photo, etc. – apparaissent sous forme de fenêtre contextuelle après leur sélection manuelle. Il suffit alors de cliquer sur une entité géographique dans l'interface cartographique pour accéder aux informations qui lui sont liées. La figure 11 présente l'interface générale de l'application : la thématique « *archéologie* » a été sélectionnée et la couche « *art pariétal* » est cochée, faisant apparaître la répartition géographique par type de figures animales (Figure 12, Annexe 3). L'entité sélectionnée est un cheval peint à la goethite : la fenêtre contextuelle permet alors d'accéder à l'ensemble des informations descriptives de cette entité. Au sein de cette interface, d'autres types d'outils ont pu être ajoutés comme la prise de mesures, l'ajout de contenu (PDF, photo) ou encore l'impression de supports de travail (carte d'une zone d'activité). Toutes les informations textuelles présentes dans la couche géographique (table attributaire) peuvent être exportées au format .csv, permettant leur utilisation ultérieure en tableur. Le choix d'une interface accessible au chercheur est délibéré. Il s'agit d'une étape primordiale et nécessaire pour permettre à un public de non-spécialistes de l'information géographique de se familiariser avec le SIG et d'envisager celui-ci non pas

uniquement comme un inventaire spatialisé, mais comme un outil d'analyses croisées. C'est seulement après cette première étape d'assimilation que l'on parvient à croiser et à traiter des données pluridisciplinaires de manière collégiale. Les chercheurs sont amenés à partager leurs données.

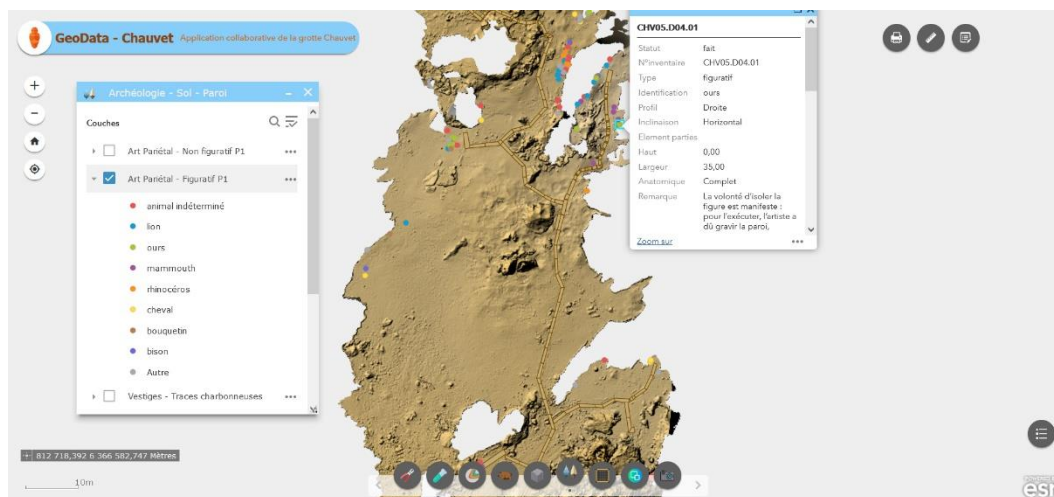


Figure 12 – Visualisation de l'interface web – GeoData – Chauvet, L.Louman.

L'un des objectifs majeurs de la migration du SIG vers un webSIG est d'impliquer le chercheur dans le processus de collecte, tout en disposant d'un outil d'enregistrement fonctionnel *in-situ*. L'application Collector for ArcGIS a été adoptée pour le travail de terrain. Elle est dédiée à la capture et à la saisie de données assurant leur transfert vers la base de données partagées. Cette application, qui fonctionne sur mobile, tablette et ordinateur, permet de positionner une nouvelle entité géographique directement sur l'un des fonds de plan de la grotte préalablement sélectionné (orthophotographie, ombrage MNT). Dans le cas de l'acquisition d'un nouveau type de données, non présentes parmi les couches géographiques du webSIG, une phase préparatoire de collecte doit être planifiée entre le géomaticien et le chercheur en amont du travail de terrain. L'avantage principal de l'application Collector reste son fonctionnement hors ligne, des conditions qui sont obligatoires pour la saisie en grotte. Les couches géographiques s'ouvrent sur le fond de plan sélectionné et les entités géographiques peuvent être ajoutées, mais également modifiées et supprimées. À chaque nouveau positionnement d'entité géographique, la fenêtre contextuelle correspondant aux champs de la couche géographique est complétée. La saisie d'informations à l'ouverture de la fiche se fait grâce à des menus déroulants et par la saisie texte (Figure 13). Un champ est également dédié aux prises de vues photographiques grâce à l'appareil photo de la tablette ou du smartphone. Seules les couches en cours d'acquisition ou les couches récemment créées sont ouvertes à l'édition.

L'orthophotographie permet aux chercheurs de relever et d'identifier les objets de visu et de saisir de façon efficace les données sur tablette. La précision des fonds orthographiques est suffisante pour distinguer les traces, les objets et les artefacts. Les modifications sont stockées localement sur tablette et se synchronisent manuellement lorsque la connexion internet est rétablie (Figure 14). Le résultat de la collecte de terrain est consultable directement sur l'interface GeoData, dès la synchronisation à la sortie de la grotte. L'application Collector s'accorde aux conditions de recherche du milieu souterrain, mais également aux missions programmées et permet aisément de prolonger le processus de collecte d'année en année. Elle facilite la cartographie, la caractérisation des zones géographiques et des objets situés au sol, à partir du moment où ils sont visibles sur les orthophotographies. Toutefois, elle reste inadaptée pour relever les entités situées en paroi. Pour les données se trouvant au-delà du sol, les coordonnées géographiques sont enregistrées avec un tachéomètre ou une station topographique ou encore par extraction via un modèle 3D ou un modèle photogrammétrique préalablement géoréférencé. Le chercheur peut ainsi utiliser Collector comme un carnet de terrain pour signaler et décrire ses données grâce à des champs dédiés. Une deuxième étape nécessite un passage sur ArcGIS Pro afin de mettre à jour les coordonnées exactes des entités géographiques. Cette étape de traitement est indispensable à la bonne saisie des informations, mais ralentit le processus d'acquisition.



Figure 13 – Tablette Surface avec l'application collector dans la grotte. La fiche gauche permet de compléter les données directement sur le fond topographique, L.Louman.



Figure 14 – Synchronisation des données collectées durant la sortie de la grotte, L.Louman.

2.4. - Applications à la recherche en cours

2.4.1. - Le suivi et l'actualisation documentaire : exemple de la couverture photogrammétrique

Depuis 2017, il y a une intensification de la production de photogrammétrie pour l'étude des sols et parois. L'acquisition et la production sont en flux continu et amènent beaucoup de matière à acquérir, à traiter et à restituer. La production de photogrammétrie est également réalisée par plusieurs membres de l'équipe ce qui rend la centralisation plus complexe. Ces photogrammétriques sont surtout utilisées pour leur orthophotographie et servent par exemple de base aux relevés des manifestations graphiques, de la taphonomie des parois ou encore pour localiser des empreintes. Pour faciliter le travail d'acquisition, une couche « *couverture photogrammétrique* » a été mise au point et est régulièrement actualisée (Figure 15, Figure 16). Elle permet de faire état des parties qui ont été couvertes dans la grotte et permet également de savoir si le traitement de la photogrammétrie a été effectué. Chaque entité contient le nom du référent de la photogrammétrie et l'objectif de la couverture. Il garde en mémoire les noms des auteurs de la prise de vue et la demande de la zone cartographiée (sol/paroi/les deux), ce qui offre un gain de temps pour retrouver le fond photo et évite tout risque de doublon. Cette couche d'information mise à jour par l'intermédiaire du GeoData Chauvet est préférentiellement remplie en laboratoire dans le temps de la mission. Elle est également utile pour attester de l'avancement des acquisitions numériques notamment dans les rapports d'activités. Cette couche est un parfait exemple de

couche collaborative, car elle est amenée à être complétée par plusieurs membres de l'équipe. Elle est utile et opérationnelle. Elle permet en quelques clics de prendre connaissance des acquisitions réalisées et de la date à laquelle elles ont été effectuées.

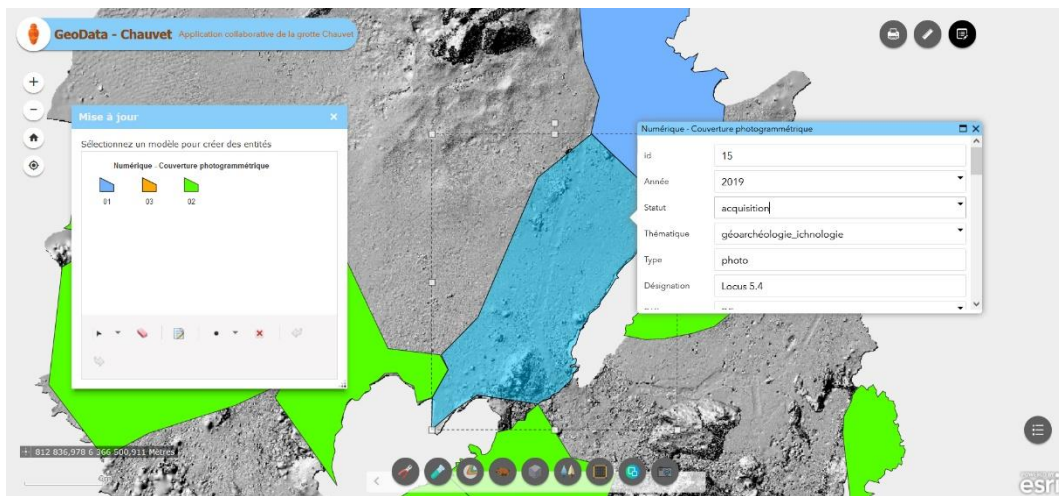


Figure 15 – Mise à jour de l'état d'avancement du traitement photogrammétrique, L.Louman.



Figure 16 – Zone actualisée, L.Louman.

2.4.2. - Collecter et identifier : exemple des pistes d'empreintes (ichnologie)

Sur les sols préservés de la grotte Chauvet apparaissent de multiples plages d'empreintes. L'étude ichnologique, entreprise par Michel Alain Garcia, dès 1998, a permis la découverte d'empreintes de grands mammifères comme l'ours des cavernes, mais également des pieds humains (Garcia, 2005). À la suite de ces travaux, d'autres empreintes ont pu être identifiées avec la présence de canidés comme le loup et le cuon (Fosse et *al.*, 2018). C'est aussi l'utilisation de fonds photogrammétriques qui a permis de découvrir de nouvelles empreintes.

L'ichnologie implique un temps de terrain long pour identifier et retrouver ces traces, il demande de nombreux allers-retours sur le terrain pour, à chaque fois retrouver la zone et l'emplacement, qui parfois sont exigus. Par ailleurs, dans certaines parties de la cavité, les négatifs sont ténus et éloignés des zones de circulation, ils se réduisent à un enfoncement de matière à peine lisible, et se localisent par relation et par l'observation d'une empreinte préalablement identifiée.

Pour faciliter, ce travail de diagnostic, de suivi et de reconnaissance Collector a été utilisé. En ajoutant le fond photogrammétrique directement mobile, il est possible de mobiliser et de cartographier les empreintes sur orthophotographie directement sur le terrain via Collector. La couche géographie créée par des menus déroulants autorise un suivi direct sur la piste en enregistrement tout en observant le sol avec une bonne précision (Figure 17). L'ensemble des données collectées dans la grotte – les photos, la position spatiale – pourront alors être récupérées. Cet outil est une première étape pour matérialiser le sens et la circulation de ces pistes et comprendre la dynamique spatiale. La cartographie de la position spatiale associée aux données ichnologiques permettra de restituer la dynamique, le sens de circulation et les déplacements des espèces dans la cavité. Ces études contribueront, à terme, à mieux comprendre les comportements de ces mammifères au sein de l'espace.

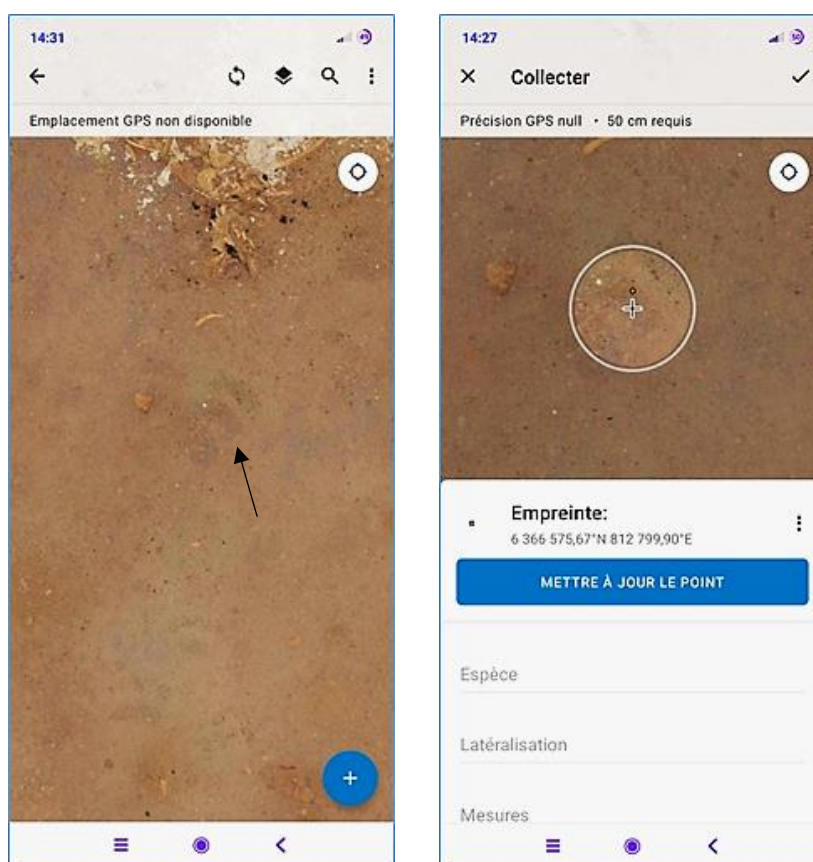


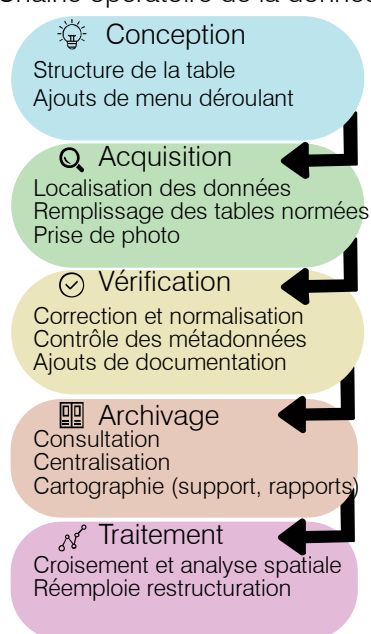
Figure 17 – Captures d'écrans mobiles avec l'affichage hors ligne du fond ortho. Zoom sur les empreintes d'ours des cavernes dans la zone des Panneaux rouges – Enregistrement de l'empreinte, L.Louman.

2.4.3. - Création d'un protocole d'acquisition reproductible et exemples d'utilisation du webSIG

L'utilisation de ce dispositif conduit à mettre en place un protocole de collecte de l'information (Figure 18). Cette chaîne opératoire de la donnée géographique de la grotte peut être décrite en plusieurs étapes. Elle vise à standardiser et à normaliser l'enregistrement des données géolocalisées de la grotte.

La première étape est la conception générale de la couche géographique qui se fait en concertation entre le(s) chercheur(s) et le géomaticien. La structure de la table attributaire est créée et associée à des menus déroulants visant à faciliter la rapidité de saisie en grotte. La seconde phase est le temps de la collecte de terrain. La table attributaire est remplie par le(s) chercheur(s), les entités ajoutées et illustrées grâce à la prise de photos. Dans la troisième étape, le travail peut être poursuivi en laboratoire. Les corrections, les contrôles sont effectués comme l'ajout d'informations, la vérification des emplacements, les contrôles des descriptions et des caractères saisis. La mention de l'échelle de saisie à laquelle la donnée a été collectée. Les coordonnées nécessitant une position millimétrique (prélèvements, échantillonnages) et les données en paroi sont par la suite corrigées à l'aide de l'extraction 3D et sont aussi repositionnées.

Chaîne opératoire de la donnée



Les informations connexes peuvent être ajoutées comme le téléchargement de la table attributaire au format .csv ainsi que des photos saisies *in situ*.

Dans une quatrième étape, lorsque la collecte est terminée, la couche est archivée et fermée à l'édition. Elle est ajoutée au socle final/de référence du SIG et peut ensuite être remobilisée au profit d'analyses spatiales transversales.

Ce protocole est réalisé aujourd'hui à travers Collector et Web App Builder. Il est par ailleurs transposable sur toute autre solution webSIG.

Figure 18 – Protocole d'acquisition de la donnée, L.Louman.

2.5. - Méthode d'enquête pour évaluer les attentes et le dispositif en présence

Le rôle du numérique est aujourd'hui majeur dans les études en sciences humaines et dans les études en grotte, nombre d'outils numériques et de portails cartographiques sont déployés sans retour d'expérience et sans mesurer leur impact sur une dynamique d'équipe. Il est donc nécessaire, après la mise en place du webSIG, accessible à tous, de mener une démarche réflexive pour évaluer l'impact du géoweb sur les pratiques de cette recherche interdisciplinaire.

En rendant le SIG accessible, il est désormais possible d'observer les transformations qu'il peut opérer au sein d'une équipe de recherche. L'intérêt de ce travail est de comprendre comment le SIG impacte les pratiques de recherche et comment dégager les éventuels verrous que comporte son usage. L'utilisation de ces outils numériques peut rencontrer des réticences, auprès d'une communauté de chercheurs, qui sont liées à des fonctionnements d'ordre interpersonnel, disciplinaire, culturel, voire générationnel. Les méthodologies d'enquête visent à décrire cet éventuel processus de changement et l'impact qu'il peut avoir sur les pratiques individuelles et collectives d'une équipe de recherche. Pour parvenir à mesurer cette incidence, nous nous sommes orientés vers des méthodes qualitatives pour la collecte de matériaux : entretiens, observation participante et focus group. Notre posture de recherche s'apparente par ailleurs à une démarche recherche-action, car nous allons directement questionner les résultats et les apports de l'outil mis en place.

2.5.1. - Du positionnement « d'insider » à une posture de recherche-action

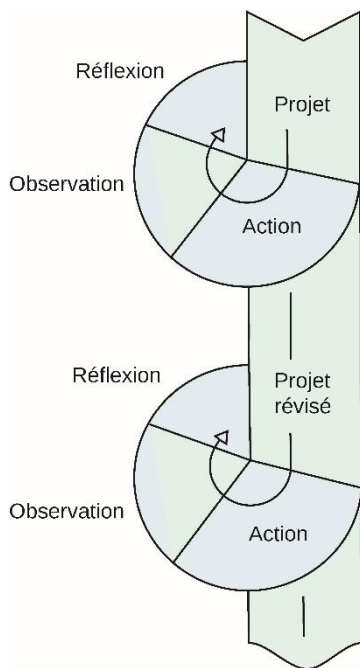
Les données présentées sont le résultat de 3 années de collecte au sein de l'équipe Chauvet. En 2018, j'intègre l'équipe scientifique sous un double statut : doctorante menant sa recherche et géomaticienne. Je participe à l'acquisition, à la gestion, au traitement et à la cartographie des données spatiales fournies par l'équipe de recherche. Mon temps de travail se répartit entre ces deux activités : le doctorat et la gestion de l'information spatiale. Ce double positionnement m'a ouvert des perspectives d'études et l'opportunité de pouvoir observer l'utilisation et l'usage des outils et d'identifier des verrous potentiels à lever en matière d'usage des données spatiales. Ce va-et-vient entre ces deux positions a alimenté ma connaissance du SIG pour comprendre que l'enjeu de son déploiement est plus central qu'il n'y paraît. L'organisation de cet outil ainsi que la gestion de l'information sont des points capitaux, car ils sont à l'interface des disciplines.

Dans le cadre de cette démarche recherche-action, j'ai utilisé ma position « d'insider ». C'est un terme adapté par Thierry Joliveau d'après les travaux Denis Wood (Wood, 2015 ; Joliveau et al., 2017) qui désigne une forme de légitimité acquise par l'expérience du cartographe. Cette position invite les géomaticiens et les cartographes à se positionner de manière critique sur l'utilisation des outils et la connaissance des usages des données spatiales grâce aux expériences acquises par l'enseignement, les missions et l'intégration dans différents services.

Cette position d'observateur et d'acteur m'a permis d'agir sur le fonctionnement à partir de mes propres constats. Ces deux positions sont rétroactives et s'enrichissent mutuellement. Ma démarche est influencée par la « *recherche-action matérialiste* », « *la méthode d'action-recherche part de l'action (du réel et de ses besoins), pour remonter vers un travail d'analyse et d'élaboration théorique à visée pratique, pour revenir à l'action* » (Cormont, 2015, p.3). La démarche entreprise vise premièrement à constater le problème, à analyser les résultats pour, à terme, envisager et soulever de nouveaux leviers d'action et améliorer la solution initialement proposée. Ces méthodes surtout employées en sciences de l'éducation et en gestion livrent un cadre de travail opportun pour comprendre les effets de leur mise en place « *Elle contribue à faciliter l'identification d'un problème ou l'émergence d'une question saillante et la résolution de ceux-ci par la mise en place de stratégies visant à l'amélioration d'une situation insatisfaisante pour chacun des participants* » (Catroux, 2002).

La recherche-action se construit avec un projet soumis à des plans d'action. C'est à partir des effets de ces plans d'action que l'on tire des réflexions pour un futur projet (Figure 19). La démarche agit comme une itération et se présente comme une procédure évolutive et non définitive.

Cette démarche permet d'adopter une position réflexive et de juger de la pertinence des choix proposés à chaque niveau du déploiement. En suivant cette méthodologie, il est possible par ailleurs de pérenniser le dispositif pour les futures recherches. Plusieurs étapes vont être mises en place : Les étapes 1 et 2 ont déjà été présentées précédemment par l'exposition d'une solution webSIG à partir du contexte. Dans les étapes 3 et 4, les effets du webSIG et les axes techniques amélioration seront formulés. Enfin dans la dernière étape, il sera possible de proposer de nouvelles solutions en vue d'agir sur le fonctionnement.



Etape 1 : Identification du contexte et mise en place d'une solution en réponse

Etape 2 : Action pour que la solution soit en adéquation avec les besoins

Etape 3 : Prise de recul sur les effets et mesures de la solution

Etape 4 : Dégager des axes d'amélioration et de dysfonctionnement

Etape 5 : Reformuler une nouvelle solution grâce à ces axes

Figure 19 – L.Louman d'après Kemmis et McTaggart (Kemmis and McTaggart, 1998).

2.5.2. - Observation participante et focus group

L'un des premiers moyens pour collecter l'information a été l'observation participante. L'observation participante consiste à approcher son terrain étude par une immersion complète et en s'intégrant à un contexte donné aux mêmes titres que les autres acteurs « *L'avantage est cependant clair en termes de production de données : cette méthode permet de vivre la réalité des sujets observés et de pouvoir comprendre certains mécanismes difficilement décryptables pour quiconque demeure en situation d'extériorité. En participant au même titre que les acteurs, le chercheur a un accès privilégié à des informations inaccessibles au moyen d'autres méthodes empiriques* » (Soulé, 2007, p. 128).

Cette méthode amène le sociologue à observer une organisation sociale, où il est lui-même intégré. Toutefois même si cette démarche est pleinement défendable et largement acceptée depuis les années 30, une prise de recul sur ces résultats est nécessaire (Platt, 1983). Ce type d'approche peut être couverte, les autres membres ne sont pas au courant des recherches entreprises ou au contraire, ces recherches peuvent librement s'exprimer. Dans mon cas, j'ai fait part à l'ensemble de l'équipe de recherche de ma volonté de sortir uniquement de l'aspect technique dans la proposition de webSIG, mais également d'en questionner les effets.

Ces observations, les dialogues, les échanges formels et informels ont amené de nombreux questionnements.

Les trois années de recherche, les missions, les réunions de travail et les échanges sur le terrain, ont permis d'observer les pratiques individuelles et collectives et de confronter les points de vue par spécialité. C'est le processus de création de la connaissance scientifique qui a pu être observé. Cette intégration au sein de l'équipe dans les réunions de travail, et dans les pratiques de terrain a révélé un large panel d'informations sur les usages, les besoins, mais aussi les limites de l'outil géomatique. Au sein de l'équipe de recherche, chacun a pu soulever librement une thématique, son opinion et ces échanges ont dévoilé les réticences ou l'adhésion à l'outil.

Si le webSIG peut aider à lever les blocages, il est nécessaire de les cibler et de comprendre leur nature. Ce sont les entretiens individuels par spécialité, pour évaluer la connaissance et l'usage des SIG, qui éclaircissent les enjeux et les besoins de ces outils géomatiques. Lors du déploiement du dispositif, pendant les réunions d'équipe, des démonstrations des fonctionnalités du webSIG ont été organisées. Ces présentations étaient l'occasion de discuter, d'échanger et de confronter les points de vue sur l'utilisation de l'outil. Elles ont permis de capter sur le vif les impressions, les opinions, les réactions par rapport au déploiement du webSIG. Ces temps de présentations ont également permis d'exprimer les contraintes, de faire émerger de nouvelles attentes et de formuler des demandes. Trois sessions ont été organisées pendant les réunions d'équipe, nous gardons la trace de ces données par les comptes rendus de réunion qui font état des participants et du contexte de réalisation.

2.5.3. - Entretiens semi-directifs

Suite à ce constat et dans le prolongement du travail d'observation et du focus group, j'ai jugé opportun de privilégier un temps de parole plus individuel avec quelques membres de l'équipe. Cet échange vise essentiellement à formaliser et à recouper les constats déjà établis afin d'en tirer des témoignages sur lesquels je pourrai m'appuyer de manière plus directe. Les interrogés sont sélectionnés par champ disciplinaire afin d'avoir une représentation plus large des expériences, des méthodes de travail et de l'utilisation du numérique. Le choix du panel s'est porté sur les disciplines principalement représentées dans l'étude de la grotte : l'archéologie, l'art préhistorique, la paléontologie/ichnologie et la géologie ainsi que le numérique. Au cours de ces échanges, j'ai mis en place une grille pour un entretien semi-directif, avec des questions ouvertes afin de laisser à mon interlocuteur le temps de s'exprimer sur son sujet. Elle comprend une dizaine de questions posées librement dans le déroulé de la discussion (Annexe 4). Certains entretiens ont été réalisés en présentiel avant la pandémie, les autres se sont déroulés en visioconférence. Les

premières questions posées sont transversales, par la suite, j'ai privilégié trois principales thématiques.

Le premier thème interroge l'interdisciplinarité. Il s'agit de comprendre les fonctions de chaque membre de l'équipe, les moyens d'échanges d'informations entre les collègues, le partage des méthodes notamment pour le traitement des données et des résultats. Le second thème concerne les nouvelles technologies, pour identifier leurs usages au sein de la grotte, et les changements qui affectent ou font évoluer les méthodes de travail. Enfin, le dernier thème questionne le rapport individuel et disciplinaire à la cartographie. Lors de ces discussions, j'ai aussi abordé le rôle central de Chauvet dans la mise en place et le développement de nouvelles pratiques. Je me suis aussi intéressée à l'impact de cette grotte dans la recherche de chaque champ disciplinaire.

À l'heure actuelle cinq entretiens sont effectués. Ils complètent les observations réalisées et les échanges préalablement menés auprès des chercheurs. Depuis mon intégration au sein de l'équipe en 2017, les échanges, durant les quatre semaines de mission par an et les nombreuses réunions, m'ont permis de constituer un socle d'informations. L'ensemble des discussions se trouvent en annexe selon la norme Ubiquis IO (Annexe 4). Ce mode de retranscription supprime les erreurs de langage, les répétitions, les hésitations et les remarques. J'ai choisi d'anonymiser les entretiens, car c'est le point de vue des spécialistes de l'équipe de recherche Chauvet qui m'importe plus que le statut/la fonction de l'interrogé.

2.6. - Analyse du dispositif sociotechnique par la sociologie de la traduction

2.6.1. - La théorie de l'acteur réseau : une grille de lecture

La sociologie de la traduction ou théorie de l'acteur-réseau (ANT) a été développée dans les années 80 par Michel Callon, Bruno Latour et Madeleine Akrich un groupe de chercheurs de l'école des Mines de Paris. Ces derniers cherchent à comprendre comment évaluer l'efficacité des sciences et des techniques et en quoi elles transforment le monde (Callon, 1981 ; 1986 ; 2001 ; Akrich, Callon et Latour, 1988a ; 1988 b ; Akrich, 1989 ; 2006 ; Callon, Lhomme et Fleury, 1999 ; Latour, 1992).

En 1986, Michel Callon rédige un article intitulé « *éléments pour une sociologie de la traduction : la domestication des coquilles saint Jacques dans la baie de St Brieuc* » qui pose le fondement de ce l'on nommera plus tard « *la théorie de l'acteur réseau* ». Il analyse la manière dont un groupe de chercheurs réussit à organiser un réseau d'acteurs dans le but de répondre à un questionnement scientifique. Il va exposer le processus par lequel le groupe de chercheur parvient à motiver un changement dans

les pratiques en proposant une solution à un problème partagé par l'ensemble des acteurs. La conduite du changement va être ainsi motivée par l'exposition des intérêts communs partagés par des groupes distincts. Michel Callon explique que pour réussir l'intégration d'une innovation scientifique, il est nécessaire de mettre en place un processus constitué de plusieurs phases : échanges, négociations, identification, détournements, rencontres, et représentations communes. Dans cet article l'auteur démontre que l'apparition d'une innovation ou d'une pratique technique ne s'explique pas par le fait « *qu'elle soit plus efficace que* », mais que cette innovation doit reposer sur la capacité des acteurs à s'organiser en réseau pour partager des intérêts communs à cette transformation.

Dans sa démarche, l'auteur constate qu'une innovation ou un projet aboutit quand l'ensemble du réseau d'acteurs se stabilise. Pour comprendre les mécaniques de la réussite du projet, il met en place la théorie ou le processus de la « *traduction* ». La « *traduction* » désigne le processus par lequel un groupe d'acteurs s'érige en porte-parole afin de mobiliser les autres actants pour créer un réseau sociotechnique. Michel Callon s'appuie sur les travaux de Michel Serres qui définit un mécanisme par lequel un monde social et naturel se met progressivement en forme afin de se stabiliser. L'analyse de ce processus de traduction mené par un observateur repose néanmoins sur plusieurs principes de précaution. Le premier principe est « *La symétrie généralisée* » : tous les acteurs humains et non humains sont des parties prenantes dans le réseau. Les acteurs non-humains peuvent être des éléments naturels comme par exemple les coquilles Saint-Jacques ou bien un objet comme un discours. Le second principe est « *l'agnosticisme* ». « *L'agnosticisme* » souligne l'importance de l'impartialité de l'observateur qui ne doit ni privilégier ni censurer un acteur dans l'analyse. L'ensemble des parties prenantes doit pouvoir exprimer librement sa propre vision. Et enfin le dernier principe est « *la libre association* » : l'analyse du réseau doit considérer toutes les associations y compris les plus imprévisibles. Les acteurs humains et non humains jouent tous un rôle dans le réseau et la frontière entre ces types d'acteurs doit s'effacer.

En analysant les phases de mise en place d'un système sociotechnique et les relations entre les différents acteurs en présence, l'auteur parvient à décrire ce qui fait le succès d'une innovation ou la réussite d'un projet. Selon la théorie de l'ANT « *L'innovation n'est pas adoptée, car elle est performante : elle est performante, car elle est adoptée* » (David, 1985 ; Coutant, 2015). Le succès d'une innovation ne repose pas sur des qualités techniques ou les baisses de coût qu'elle engendre, une innovation devient performante à partir du moment où les utilisateurs s'en emparent. Cette démonstration a permis de réviser le concept de l'efficacité et d'identifier les phases de réussite d'une innovation. La sociologie de la traduction peut alors être

envisagée comme une approche d'analyse d'un fait scientifique : « *Une approche selon laquelle la production scientifique ne devait plus être considérée comme étant l'explication de plus en plus juste d'une réalité absolue, mais comme une pratique faite d'incertitudes, de sentiments, de lieux communs, de réflexes, de hasards, de négociations et d'arts de faire, parmi différents individus plus ou moins proches dans l'espace et le temps* » (Sire, 2017, p.07).

Le processus de traduction implique une démarche en plusieurs étapes. Ces étapes sont des phases d'avancement progressives par lesquelles un acteur parvient à s'organiser en réseau et mobilise un ensemble d'acteurs pour mener une problématique personnelle vers une problématique commune. Cette problématique commune est instaurée pour impulser un changement face à une situation ou une difficulté rencontrée par les acteurs en présence.

Dans cette première étape est nommée la problématisation. Il s'agit alors d'observer comment se rendre indispensable auprès des autres acteurs. Les acteurs ayant une problématique vont être amenés à identifier d'autres acteurs partageant des intérêts communs. Ces premiers acteurs se rendent indispensables à la résolution de ce problème commun. L'ensemble des acteurs passent ensuite par le PPO (point de passage obligatoire), il se caractérise par une problématique, clairement formulée sous forme de question, à laquelle l'ensemble des acteurs répond pour satisfaire son intérêt. C'est par l'identification de cet intérêt, à passer par le point de passage, que le réseau s'organise. Cette étape permet d'identifier les actants du réseau en devenir et aide à formuler leur propre intérêt.

Le dispositif d'intéressement est l'étape par laquelle les acteurs mettent en place des stratégies pour parvenir à intéresser et à rallier les autres acteurs à leur action. Dans cette étape, certains acteurs adhèrent au plan de résolution initialement proposé tandis que d'autres y renoncent. La mise en place d'un dispositif d'intéressement implique l'échange, le dialogue, la présentation et l'exposition du problème aux autres acteurs. L'objectif est de rallier une partie des acteurs identifiés lors de la problématisation. C'est durant cette étape que les alliances vont se construire et se négocier.

L'enrôlement désigne l'étape où le dispositif d'intéressement a fonctionné. L'intéressement se confirme si les acteurs du projet acceptent le projet proposé par les premiers acteurs. Ils l'approuvent tel quel ou renégocient les termes du contrat. Certains points peuvent être abandonnés, des modifications peuvent être apportées. Lors de l'enrôlement, l'observateur expose l'ensemble des négociations multilatérales réalisées. L'enrôlement permet également d'observer la distribution des rôles des acteurs entrés dans le réseau.

Mobiliser des alliances. Une fois l'enrôlement réussi, l'étape de mobilisation consiste à désigner des porte-paroles représentatifs de chaque groupe d'acteurs. Ces derniers parlent au nom de leur groupe et jouent le rôle de représentant des intérêts communs. C'est une étape flottante, car elle peut faire naître des trahisons. Certains acteurs peuvent se rebeller contre leur représentant et se désolidariser du réseau.

Cette dernière étape « Étendre le réseau » a été rajoutée à la théorie du réseau pour démontrer qu'un réseau se stabilise réellement lorsqu'il s'étend.

La sociologie de la traduction a d'abord été appliquée pour comprendre l'évolution de la science, aujourd'hui elle dépasse le cadre sociologique des techniques, des organisations et de l'innovation. Elle est maintenant mobilisée en science de l'éducation, en gestion, en communication, dans le domaine de l'environnement et de l'agriculture (Goulet, 2008 ; Walsh et Renaud, 2010 ; Mazzilli, 2011 ; Lamine et *al.*, 2014 ; Sire, 2017). Elle est également utilisée de manière très opérationnelle pour analyser des projets de développement (Deligne, 2014 ; Lavigne, 2015). C'est une clef de lecture pour identifier les acteurs d'un projet et sa réussite. Dans le cadre des politiques managériales, le processus de traduction s'affirme comme une méthode et comme un cadre de gestion de projet (Rorive, 2003).

Dans le cadre de ce travail, l'ANT apparaît comme une grille analytique pour évaluer le déploiement du webSIG et comprendre comment il peut favoriser ces pratiques interdisciplinaires. Ce support analytique servira à identifier les acteurs en présence, à comprendre les intérêts, les controverses et à matérialiser les étapes clefs de la mise en place du projet. Elle permettra également de matérialiser les zones d'ombres, les dysfonctionnements ainsi que les perspectives d'échecs et de réussites : « À travers cette approche, c'est toute la vie du projet dans les diverses arènes où il se négocie, se défend, s'évalue qui est mise en lumière. Comment un projet naît, se construit et s'achève ou parvient à se reproduire dans un ou plusieurs autres projets, comment son modèle change, s'impose progressivement à d'autres acteurs ou s'épuise » (Deligne, 2014, p.11).

La démarche d'utilisation de l'ANT offre un cadre analytique nous permettant de synthétiser et mieux appréhender la mise en place du webSIG. La migration des données spatiales d'un SIG bureautique à un webSIG implique des changements d'organisation, de pratiques, de manière de faire, dans un système où le chercheur est volontairement positionné au cœur du dispositif. L'installation d'un webSIG est devenue nécessaire pour la centralisation de l'information comme pour les directives venant du ministère de la Culture et ce changement est susceptible d'entraîner des craintes ou des réticences à manipuler un nouvel outil. Se pose alors la question de comment garantir sa pérennité, mais également comment accompagner cette transformation afin d'assurer son adoption et son appropriation sur le long terme. Il

faut alors susciter, chez les différents acteurs, une implication, une volonté, une responsabilisation vis-à-vis de ce nouveau partage de données.

La difficulté de mise en place de l'ANT et qu'elle renvoie à une double position, car je travaille activement à la réussite du projet en tant que « géomaticienne », je fais alors pleinement partie des acteurs analysés et par ailleurs j'analyse rétrospectivement les aspects qui peuvent faire fonctionner ou échouer un projet. Je suis alors un acteur en présence, à la fois le « traducteur » du projet, mais également « l'observateur ». Comme le mentionne Callon, « l'agnosticisme » est un principe de précaution qui demande une impartialité. C'est pourquoi cette analyse est chronologiquement postérieure à la mise en place du webSIG créé en 2018.

2.6.2. - Les SIG, des cas de controverses déjà avérés

Chaque étude, qui mobilise l'ANT, implique préalablement l'existence d'une controverse. Le terme de « controverse scientifique » consiste à comprendre des désaccords scientifiques. La « controverse sociotechnique » peut se définir ainsi : « *Comme un débat qui engage des connaissances scientifiques ou techniques non stabilisées et qui conduit à des affaires embrouillées, mêlant des considérations juridiques, morales, économiques et sociales* » (Chavot et Masseran, 2016).

En sociologie des sciences et techniques ce terme, ne possède pas de dimension péjorative qu'on lui prête dans le langage commun. Dans, le cadre de l'utilisation des systèmes d'informations géographiques les controverses sont récurrentes, Henri Pornon les a identifiées comme des erreurs liées au déploiement qui amènent à de nombreux désaccords ou dysfonctionnements. C'est par exemple une mauvaise analyse de l'organisation du système et de la répartition de compétences qui mettent en concurrence des services (urbanisme, transports, environnement). La concurrence peut être à un niveau horizontal entre services ou bien à un niveau vertical entre les mairies, collectivités et départements (Pornon, 2006). Cette situation aboutit à des difficultés de coordination et de fédération de l'ensemble les acteurs à la mise en œuvre des projets SIG : « *On peut rencontrer dans une même organisation des projets correspondant à des objectifs différents, pas toujours fédérateurs, parfois sans dimension organisationnelle [...]. Ces divergences aboutissent parfois à l'émergence de projets concurrents, de SIG clandestins dans les organisations ou plus généralement de conflits de pouvoir autour des SIG.* » (Pornon, 2006, p.5).

Le SIG peut devenir un enjeu stratégique, de pouvoir, car il est garant de la connaissance d'un territoire ou d'une zone géographique. La naissance des controverses dans le domaine des SIG, ne situe pas sur la mise en œuvre, mais sur des questions liées à l'identification ou à la finalité d'un projet SIG (Harvey, 2000).

Si les objectifs du projet ne sont pas clairement définis pour l'ensemble des acteurs, les risques d'une perte d'intérêt sont présents. L'acteur n'ayant pas identifié l'objectif du SIG, ne s'impliquera pas dans sa mise en œuvre ce qui se traduira par un « *manque de motivation, un désintérêt, ou abandon* » (Pornon, 2006). Il délaissera alors les outils cartographiques ou SIG. La mise en place d'un SIG ou l'utilisation des données spatiales sont alors des sources de rivalités individuelles, sans prendre pour autant une tournure conflictuelle.

Il existe également d'autres types de controverses liés cette fois à l'usage de la donnée géographique. Dans sa thèse, Matthieu Noucher soulève la difficulté d'assimiler, d'utiliser une donnée spatiale créée par un autre acteur ou un autre service. Dans certains cas, les acteurs sont amenés à réutiliser une donnée produite par un autre acteur et à se retrouver face à un système de pensée différent du sien. Cet état appelé « *dissonance cognitive* » est un état où un acteur manque de représentation par rapport à la donnée produite. Il va alors se heurter à la norme d'un autre service (Noucher, 2009 ; 2010). Cet acteur sera dans l'incapacité d'utiliser des données existantes produites ou de mobiliser ses données existantes. Le problème du manque de représentation d'une donnée peut à terme rendre un projet SIG peu opérant et inintelligible si l'ensemble des acteurs concernés ne partage pas une représentation commune.

Comme le soulignent Paul Rouet et Henri Pornon, la mise en œuvre de projet ou d'intégration SIG est rarement liée à des problèmes techniques, mais à des aspects organisationnels comme des problèmes de perception, d'enjeux ou des difficultés à acquérir une nouvelle culture de l'information (Rouet, 1992 ; Pornon, 1993 ; 1998).

2.6.3. - Applications à la grotte Chauvet

2.6.3.1. - De la problématisation à la naissance d'une controverse

La mise en place du SIG s'est faite progressivement depuis 2009. Les chercheurs de l'équipe ont bien identifié l'utilité et les apports de l'outil pour l'étude de la cavité. Cependant, le constat réalisé en 2018 montre que le rapport entre le chercheur et l'outil reste mitigé. Certains se sont désintéressés de l'outil, pour d'autres c'est une source de tension. Il est perçu plus comme une contrainte que comme un outil analytique pour épauler la recherche en cours. Une partie de l'équipe mesure le potentiel de l'outil et souhaite l'exploiter, d'autres ne souhaitent pas l'utiliser, car il ne répond pas à leurs besoins.

Pour comprendre ce désintéressement, il faut revenir aux modalités de création du SIG pour l'étude de la grotte. Le SIG de la grotte Chauvet voit le jour en 2010, c'est la première fois que l'on crée un dispositif pluridisciplinaire aussi important pour

l'étude archéologique d'un site orné, il n'existe pas de modèle comparable. Les objectifs attendus sont ambitieux : réaliser une base documentaire de l'ensemble des données de la grotte alors que seulement la première partie et les zones de la seconde sont étudiées. L'objectif de ce SIG est de réaliser un ensemble de cartes thématiques, par spécialité, en vue de publier un atlas cartographique de la grotte Chauvet.

Pendant 6 ans, une partie des membres de l'équipe mène un important travail d'enregistrement et de structuration des données afin de cartographier la grotte. Pour rassembler et centraliser l'information, plusieurs moyens sont mobilisés, plus ou moins en relation et avec l'aide du chercheur.

Le premier moyen a été la coopération. Le chercheur a fourni avec un tableur excel l'inventaire de son étude. Dans ce cas, ce tableur a servi de base pour compléter la couche géographique. La donnée et la position sont retrouvées à partir de l'inventaire contenu dans le tableur.

Inversement, dans un second moyen, la constitution des couches géographiques s'est faite à partir des cartes réalisées sous illustrator. Le géoréférencement et la digitalisation des plans ont permis d'intégrer ces cartes précédemment réalisées dans le SIG. Grâce à ces deux moyens, les données du SIG restent proches de la source d'origine fournie par le chercheur.

Enfin dans un dernier cas, la donnée a été collectée de manière indépendante. La couche géographique est conçue à partir des sources documentaires existantes dans les rapports et la connaissance du terrain.

Cette situation a abouti à un SIG inadapté aux membres de l'équipe de recherche et de leur propre problématique de travail. Une partie de l'équipe a communiqué sa documentation sans identifier à quoi elle allait servir et comment elle serait utilisée. Les chercheurs se sont sentis mis à l'écart de ce projet collectif et dépossédés de leurs données personnelles. Il y a une appréhension à l'idée de les fournir. Ce sont les compétences techniques en matière de SIG qui freinent l'implication des chercheurs dans le projet, provoquent le désintéressement et contrarient la collecte des données, car ils n'adhèrent plus au processus. Cette appréhension est née de l'impression du chercheur d'un dédoublement d'étude en ne considérant pas le travail d'identification préalable. L'enregistrement spatial des entités doit précéder le travail et l'analyse. Cependant, dans certains cas, notamment pour la seconde partie de la grotte, le travail d'enregistrement spatial est arrivé avant l'étude et l'identification du spécialiste. Cette situation a fait naître un sentiment de mise en concurrence avec le travail mené. L'identification des objets archéologiques (ossement, mobilier, dessin, traces) fait partie du travail de l'archéologue, s'il est

dépossédé de cette phase de travail, il perd sa légitimité et son rôle dans l'étude de la grotte.

La place de chaque chercheur repose sur la base de critères, sur son expertise dans l'étude d'une information bien particulière. Cela définit le périmètre de sa recherche. À titre d'exemple, un paléontologue étudie la présence et la relation homme-animal par le biais des ossements, empreintes et bio glyphes, son statut le rend alors légitime à intervenir sur des questionnements liés à un son champ disciplinaire. C'est « sa capacité » de documentation, d'analyse et de restitution des connaissances qu'il est amené à fournir sur cet objet qui rend sa position légitime au sein de l'équipe de recherche.

De plus, il existe une forme de méfiance face aux outils cartographiques qui génèrent des productions esthétiques et des répartitions parlantes. Michel Lussault décrit cette méfiance comme un « effet de vérité » au sujet de la cartographie dans les projets d'aménagement, les données une fois mises en cartographie paraissent claires et limpides. Les erreurs ou les mauvaises identifications ne peuvent plus être perceptibles par les chercheurs concernés ou les auteurs de l'étude (Lussault, 2003).

Ce sentiment de désintéressement est fortement ancré à Chauvet. En 2018, les premiers entretiens sur les données géographiques, réalisés individuellement avec des membres présents, montrent des réactions variées du type « *Je n'ai jamais vu ces données* », « *Je ne suis pas sûre qu'elles me concernent* ». Ces commentaires marquent une rupture nette entre la recherche réelle et les données collectées.

À cette question de la légitimité se rajoute le problème des métadonnées et de la propriété intellectuelle de la personne qui transmet ces données. Ce flou concerne le remplissage des données et du statut, car les données archéologiques ne sont pas encore soumises à la norme INSPIRE. Ce manque de clarification des usages de l'information, de la propriété et des objectifs intra et interpersonnels crée une controverse.

En quelques années, ce SIG, centre névralgique de l'information et des échanges des données brutes des chercheurs, a créé des tensions, et a suscité des réactions variées quant à son utilisation, si bien que le Centre national de Préhistoire est intervenu pour définir le rôle de l'outil.

Le risque d'un désintéressement collectif peut à terme compromettre la production des données géographiques de la grotte. Cartographier les données d'une grotte sans qu'elles soient identifiées par le spécialiste rattaché peut entraîner des erreurs d'identification, des oublis, des problèmes de caractérisation de l'objet. Sans le diagnostic du spécialiste, l'objet risque d'être mal décrit et les spécificités ou les éléments remarquables mal identifiés. Sans ce processus, les données sont certes

sauvegardées sur le plan spatial, mais elles deviennent dénuées d'intérêt, car non ou peu documentées et ne reflètent pas les questionnements actuels, ni les problématiques posées par le chercheur.

Cette exposition de la place du SIG au sein de l'équipe de la grotte Chauvet est un témoignage courant de controverse liée à l'usage des données géographiques et à la représentation de l'information.

2.6.3.2. - Problématisation

La première étape de la problématisation consiste à identifier l'ensemble des acteurs impliqués dans le réseau sociotechnique. Le traducteur, va au sein de cette étape, repérer tous les acteurs, leurs intérêts personnels et mettre en place une problématique générale adaptée à cet ensemble d'acteurs de façon à les rassembler et à les organiser en réseau. La formulation d'une problématique est un passage obligatoire dans la construction de ce processus (Tableau 2).

Le premier acteur est l'ensemble des chercheurs associés à l'équipe de recherche. Même si leur discipline et leur aspiration sont différentes, ils partagent en commun le fait de travailler dans la grotte et ils cherchent à faire avancer la connaissance sur cet ensemble. Le groupe de chercheurs a un contact fréquent avec le terrain et est amené à rédiger des rapports et à produire des résultats. Sur le terrain, leur temps de présence est limité et ils doivent prévoir, prioriser et anticiper les nouvelles acquisitions. Ils partagent la même conscience du challenge que représente l'acquisition des données face à la quantité et à la diversité d'informations. Le terme de « complexité » est souvent employé pour caractériser cette opération :

« – Chauvet c'est très variable, c'est très varié, c'est très **complexe** que ce soit sur les sols c'est la même chose [...], on ne voit pas ça ailleurs cette quantité d'informations sur une même surface... c'est fou » (Interview 2).

« – Ce qui m'impressionne à Chauvet c'est la fraîcheur de la grotte et la masse d'informations liées à cette fraîcheur [...]. C'est une multiplicité d'informations dont on n'a même pas conscience » (Interview 3).

Cette complexité est partagée, mais se présente sous différentes formes en fonction de la discipline étudiée.

« – C'est une réelle **complexité**, encore une fois le paléontologue ou le taphonome ont l'habitude de toucher manipuler tourner les choses dans tous les sens donc à la limite il y a une facilité pour identifier les choses pour observer. Là tu dois regarder les choses de loin, tu ne peux pas toucher, ou toucher avec les yeux déjà c'est une première barrière à franchir » (Interview 1).

Face à cette masse d'informations et à l'inaccessibilité de certaines parois, ils approuvent l'utilisation des outils numériques pour approcher les objets d'étude.

« – Les SIG et la 3D sont utiles encore une fois pour l'acquisition de la donnée parce que nous n'avons pas d'autre moyen de le faire et je pense quand bien même on pourrait le faire de manière physique on n'aurait pas une donnée aussi précise qu'un outil 3D ou SIG. Ils nous sont utiles pour pointer les traces, mais pas uniquement pour parler de la dynamique » (Interview 1).

« – Faire de la cartographie sur un fond de topographie simple... non ! J'attends d'avoir le relevé 3D et que l'on me sorte une ortho photo ou un plan... sinon non je refuse c'est hors de question clairement ! » (Interview 2).

Ils expriment les difficultés d'étude liées à la collecte importante d'informations et soulignent l'importance du numérique dans l'étude de la grotte. Ils admettent le rôle essentiel du numérique, et les compétences techniques que ces outils imposent :

« – C'est une communauté très riche, nombreuse avec beaucoup de discipline. Beaucoup de gens travaillent dans leur coin et font leur truc à eux donc en fait on utilise mal les outils, encore une fois je n'ai pas été formée à utiliser des SIG je serais bien embêtée si on me disait aller faire un SIG, pour le coup je ferais appel aux gens qui savent et j'en discuterai » (Interview 1).

« – C'est un bénéfice pour la science et pour la conservation. Et ça, c'est nettement mieux, moi je suis optimiste mais je n'ai pas la souplesse d'esprit pour m'adapter facilement à ces outils-là » (Interview 3).

« – Je ne les pratique pas pour suivre le train de la vie, ils sont indispensables bien sûr » (Interview 2).

L'enjeu pour les chercheurs dans ce cas de figure est d'acquérir de façon efficace l'information dont ils ont besoin pour travailler. Les stratégies individuelles mises en place pour collecter les données leur demandent du temps, et c'est un temps précieux, car il est limité. La stratégie de co-construction adoptée passe alors par le webSIG. Cet outil facilite amplement la collecte de terrain. C'est en ajoutant des photos, des descriptions de données, qu'ils peuvent alimenter et réutiliser facilement les données sous forme de tableur ou pour réaliser des cartes. L'outil offre la capacité de suivre leur état de documentation, mais également les recherches réalisées par leurs collègues. Par ailleurs, cet outil sera plus simplifié et ne doit pas se présenter comme une « usine à gaz » (Interview 2) une expression formulée à plusieurs reprises. Le webSIG peut être une réponse à la fois, à la collecte massive d'informations, à la gestion des données dans une version simplifiée et accessible. Cela permettra d'envisager durablement les problématiques spatiales, mais également de travailler dans un espace cartographique collectif.

Le second acteur est le Centre National de Préhistoire. Le CNP est un service de l'administration centrale du ministère de la Culture rattaché à la sous-direction de l'archéologie. Ce service à la fois administratif et scientifique est responsable de la mise en œuvre de la politique nationale des grottes ornées. Il est spécialisé dans l'étude et la conservation des grottes ornées et sites d'arts rupestres. Ses missions portent sur la coordination scientifique à l'échelle nationale, l'expertise, le conseil, la formation, mais également sur l'usage des technologies numériques, la valorisation et la diffusion des résultats des recherches dans le domaine de l'art rupestre. Le CNP est impliqué dans de nombreux projets de recherche et a une vue d'ensemble des missions archéologiques des sites ornés. Il a une vision organisationnelle et centralisatrice des données produites par les équipes travaillant sur les grottes. Il s'attache aux questions de propriété de la donnée, à l'interopérabilité de l'information géographique, car ils ont une conception à long terme de la production de connaissances. Ils veillent à ce que l'ensemble des informations leur soit restitué et encourage les équipes à l'usage de format interopérable. Ils développent ainsi un projet de mise en place de modèle de SIG commun à l'étude de ces grottes. L'enjeu est également de faire de Chauvet un véritable point de départ pour adopter ce modèle à d'autres grottes.

Le principal intérêt du CNP est de pouvoir obtenir chaque année une bonne remise de l'information, conforme, qui soit normalisée et qui corresponde à l'avancement de la recherche. Le CNP a adhéré au système de gestion collective du SIG, c'est un moyen d'accéder à l'information pour les chercheurs et les membres de la conservation. Le principal intérêt du CNP concerne la bonne restitution de l'information en veillant à l'implication et aux mises à jour des métadonnées de chaque membre de l'équipe.

Le troisième acteur est non humain, il s'agit du webSIG. Dans le cadre de l'ANT, le webSIG est un acteur parmi les autres. Le rôle du SIG est de stocker l'information, de gérer, d'organiser et diffuser l'information. Son rôle est aussi d'être disponible et accessible sans et avec internet, dans la grotte. Le rôle du webSIG est d'afficher l'ensemble de l'information souhaitée de manière fluide et pérenne.

Les principaux obstacles susceptibles d'être rencontrés concernent son fonctionnement non adapté aux données spatiales d'une grotte comme par exemple la position des entités graphiques. Il peut être également détourné pour un usage individuel au détriment du collectif. Un groupe peut par exemple s'appropriier l'usage du SIG et l'adapter à leurs besoins au détriment des autres acteurs.

Le quatrième acteur est le géomaticien. Ce dernier assure le rôle de traducteur. Il doit amener l'ensemble des acteurs à se réunir et à s'organiser en réseau. Il va créer le point de passage obligatoire pour rassembler et rallier l'ensemble de ces acteurs à sa cause dans l'intérêt commun. Le géomaticien a identifié le webSIG comme une

opportunité pour aider l'ensemble des acteurs à rendre le travail de collecte efficace sans un investissement important ou un apprentissage particulier. Son intérêt est de défendre sa spécialité, l'information spatiale pour encourager l'innovation. Il va chercher à ce que le SIG devienne une pratique courante et soit alimenté et complété régulièrement par chacun des membres de l'équipe. Son rôle est alors de déléguer et d'automatiser le dispositif pour favoriser l'autonomie des chercheurs dans l'utilisation de l'outil. La mise en place du webSIG supprime un intermédiaire entre le chercheur et l'information qu'il souhaite collecter. En enlevant l'intermédiaire, il pense résoudre une partie de la controverse et remobiliser les chercheurs dans la collecte. C'est en impliquant les chercheurs dans le dispositif, qu'il peut montrer le potentiel analytique de l'outil. Il a par ailleurs un intérêt personnel à ce qu'un maximum d'informations soit intégré et il doit s'assurer de la précision de ces données spatiales, car l'analyse qu'il va être amené à produire repose sur leur existence.

| Acteurs | Geomaticien (traducteur) | Les chercheurs | Ministère de la Culture (CNP) | webSIG |
|-----------------|--|--|---|---|
| PPO | « Comment collecter collectivement les données spatiales de la grotte Chauvet ? » | | | |
| Obstacle | Alimenter seul les données pluridisciplinaires d'une équipe | Cartographier les données sur le terrain et consulter individuellement les données contenues dans le SIG | Obtenir un suivi annuel des données spatiales | L'échelle d'étude des archéologues |
| But (explicite) | S'assurer du remplissage des données spatiales et la co-construction avec les acteurs | Étudier efficacement la grotte | S'assurer de la restitution des données | Contenir et afficher les données de la grotte |
| But (implicite) | Démontrer que le SIG peut être une solution adaptée à d'autres grottes/ Susciter des perspectives d'analyses grâce à l'adhésion de chercheurs | Intégrer les technologies comme méthode/développer des problématiques spatiales dans l'étude | Conforter la position du CNP comme garant et porteur d'innovations numériques | S'affirmer comme une technologie transversale à de nouveaux contextes |

Tableau 2 – Synthèse et identification des acteurs par le point de passage obligatoire, schéma d'après M. Callon (Callon, 1986).

Ainsi, le géomaticien, dans le processus de traduction, dégage les problèmes et formule une question centrale, dans le cas de Chauvet ce sera « *Comment collecter collectivement et efficacement les données spatiales de la grotte ?* ». En répondant à cette question, il ouvre un dispositif permettant de résoudre les difficultés rencontrées par chaque acteur tout en essayant de répondre aux buts explicites et implicites de chacun. Dans le cas de Chauvet, il devra convaincre que c'est en mettant en place le webSIG que l'on peut collecter efficacement, collectivement et durablement les données spatiales de la grotte.

2.6.3.3. - Le dispositif d'intéressement

La mise en place du dispositif d'intéressement consiste alors pour le traducteur, en l'occurrence le géomaticien à développer des stratégies, à faire adhérer au processus les acteurs identifiés – les chercheurs, le webSIG, le Centre National de Préhistoire. Cette étape vise à intéresser les acteurs afin qu'ils matérialisent dans ce dispositif une solution à leurs obstacles.

Dans le cadre de l'intéressement des chercheurs, le dispositif a été développé précocement par le géomaticien. Ce travail d'intéressement a commencé dès 2018 par des entretiens avec les membres de l'équipe, sous forme de groupes de travail ou individuellement. Ces entretiens ont été réalisés de manière informelle, afin de discuter des données SIG propres à chaque discipline. Un état de travail de connaissance des données est déjà disponible, pour comprendre les enjeux de chaque acteur, leurs besoins, il identifie également les problématiques qui pourraient être envisagées. Ces entretiens ont ouvert le dialogue sur la relation et l'usage de l'outil. Pour compléter ce travail, des interventions ont été menées lors des réunions avec l'équipe de travail, ces focus groups ont permis d'échanger collectivement sur les difficultés, les attentes et le suivi des données. L'intéressement s'est consolidé durant les missions par des échanges, des tests et de l'accompagnement sur le terrain. Des contacts se sont individualisés pour la prise en main de l'outil, pour en montrer les capacités et les options existantes.

Après cette phase de dialogue, l'objectif du dispositif d'intéressement du webSIG a consisté à identifier le choix d'une solution. Le traducteur a réalisé plusieurs essais avec Qfield et QGIS, PostgreSQL/PostGIS et enfin avec ArcGIS Server afin d'identifier la solution la plus adaptée aux conditions de la grotte. Des tests avant, pendant et après les missions ont été effectués pour en vérifier la faisabilité. Une fois la solution identifiée, il a été nécessaire de résoudre de nombreux problèmes techniques, des problèmes d'incompatibilité de projection et des problèmes d'échelle.

Le dernier dispositif d'intéressement est mis en place pour le Centre National de Préhistoire. Le Centre National de Préhistoire a suggéré précocement l'utilisation d'un dispositif cartographique collaboratif. Les membres de l'organisme, avant même la mise en place du SIG, avaient identifié les controverses naissantes et le rôle que pourrait avoir un webSIG dans l'apaisement de ces tensions. L'intéressement s'est effectué facilement, néanmoins, il a fallu maintenir ce lien et informer régulièrement de la mise en place de l'outil. C'est au cours de réunions, de plusieurs rendez-vous que les choix, les avancées ont pu être montrés. Certains membres de CNP sont aussi chercheurs à Chauvet, ils ont assisté aux sessions de travail ce qui a facilité cette évolution. LINE

2.6.3.4. - L'enrôlement

La phase d'enrôlement consiste à créer de véritables alliances. Une fois la phase d'intéressement réussie, il faut rediscuter les termes du contrat pour créer des alliances avec les acteurs.

Dans le cadre de la négociation avec les chercheurs, le géomaticien a procédé à des modifications constantes. Il s'est rapidement confronté aux différentes représentations et attentes que chacun des membres concevait de cet outil. Les chercheurs ont fait part de leur volonté d'ajuster au mieux l'outil en rapport avec leur objet d'étude et l'usage de chacun s'est avéré différent. Les spécialistes de l'art pariétal ont par exemple, besoin d'un SIG enclin à traiter les informations sur les parois, avec des photos, des lignes descriptives qui sortent des modes de visualisation traditionnels des SIG. Sans la possibilité d'avoir des images rattachées aux points géographiques, les entités en paroi apparaissent comme des amoncellements de points. Ils se heurtent alors à la difficulté de rattacher les images acquises en paroi et celles qu'ils produisent par le biais d'un relevé graphique à la cartographie du sol.

Pour rallier les chercheurs spécialistes de l'art préhistorique, un module de visualisation a été mis en place : un Dashboard, catalogue de visualisation rattaché au serveur SIG via ArcGIS Online (Figure 20). Cet outil, dédié à l'art, est un catalogue de visualisation relié aux données du serveur et permet d'observer simplement l'état de la collecte. Cette application autorise la visualisation directe d'images au sein du SIG et se modifie en fonction de la navigation. Cette nouvelle interface a montré aux chercheurs, dans un premier temps, l'intérêt de remplir le SIG pour ensuite obtenir un catalogue de visualisation adapté aux problématiques spatiales des archéologues.

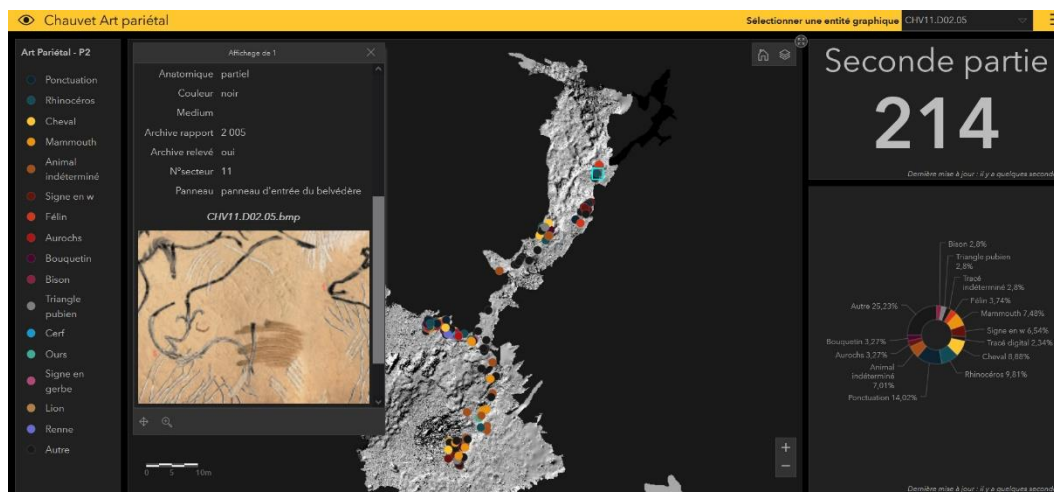


Figure 20 – Dashboard par type de figures, L.Louman.

Les géologues, contrairement aux autres disciplines, ont une pratique plus ancrée de la cartographie dans leur méthode. Cette phase d'enrôlement a consisté à tester l'outil cartographique sur le terrain afin d'y reporter des zones et des phénomènes en cours d'étude. Le principal problème qui s'est posé, lors de l'utilisation, est la rigidité de l'outil polygonal dans Collector qui limite la souplesse du trait pour détourner correctement les zones. Ainsi, certains ajustements ont été faits rapidement, notamment ceux liés à des problèmes d'affichages ou comme l'ajout de nouveaux fonds ortho-photographiques. D'autres, au contraire, comme la modification de l'interface d'impression ou l'ajout de nouvelles fonctionnalités demandent un développement de plug-in plus compliqué à réaliser. Il a fallu négocier le fait que malgré la fonctionnalité de l'outil, une phase de maîtrise est à acquérir par la pratique.

La négociation a consisté à démontrer les limites du webSIG. Cet outil ne pourra pas s'adapter ou se réinventer dans les cadres de référence de chaque discipline. Par ailleurs, cette phase d'enrôlement est restée ouverte sur les suggestions et les devenir de certaines fonctionnalités. À plus long terme, si l'utilisation évolue positivement, la mise en place de nouvelles fonctionnalités pourra être développée par le biais de plug-in. Malgré cela, certains chercheurs ont renoncé à utiliser l'outil même après avoir testé le dispositif cartographique : « *Je ne suis pas de cette génération-là, je ne crache pas là-dessus, mais j'ai du mal à m'y adapter. J'en fais un minimum, pas que je freine, mais mon savoir n'est pas là-dessus* » (Interview 3). Ils ont clairement formulé qu'ils ne souhaitent pas manipuler ces outils, qui leur demandent trop d'investissement et sont trop éloignés de leur pratique spatiale.

Un autre type de renégociation que le traducteur a mené concerne la question du choix de la solution technique. Le CNP conscient de l'apport de l'outil a encouragé la démarche, mais s'est confronté au choix de la solution cartographique. La politique ministérielle encourage aujourd'hui l'utilisation de solutions libres. Le choix

d’ArcGIS, bien que dominant sur le marché avec son format shapefile, n’est pas en adéquation avec ces prérogatives. Il a fallu concéder que cette solution reste provisoire et qu’à terme, si elle fonctionne, elle pourrait évoluer vers un nouveau serveur cartographique libre. L’application de l’outil a été redéfinie : tourner vers le terrain dans une démarche opérationnelle de collecte d’information. Cette solution est donc éloignée des portails cartographiques destinés à des communautés de recherche ou au grand public, qui demanderait alors d’autres types de solutions. C’est plus une concession qu’une négociation qui a été faite par le CNP sur le choix de ce type de solution.

L’enrôlement du webSIG a consisté à multiplier les essais hors et dans la grotte sur plusieurs interfaces pour s’assurer de la fiabilité. Des bugs sont apparus qu’il a été possible de régler et de constater grâce aux assistances techniques.

2.6.3.5. - Sceller des alliances

Après l’étape de l’enrôlement, la dynamique de changement recherchée n’est pas acquise tant que les alliances ne sont pas scellées. Elle nécessite l’implication de certains représentants de chaque groupe d’acteurs qui vont se positionner « en porte-parole » pour impulser cette dynamique de changement. Cette dernière étape peut confirmer les alliances et asseoir la stabilité du réseau.

Dans le cadre de l’étude, on se situe encore en amont de cette étape. Le confinement dû à la crise sanitaire, durant la première semaine de la campagne 2020, et l’absence de la campagne 2021 ont fortement impacté le temps de familiarisation et de déploiement du webSIG, sans pouvoir le faire évoluer au rythme envisagé.

Néanmoins, c’est en l’absence du géomaticien que certains membres du groupe de chercheurs ont entrepris d’utiliser l’outil auprès des autres membres. En s’impliquant dans son utilisation, ils ont adopté une posture de « porte-parole » et ont sensibilisé les autres groupes de chercheurs. Les géologues ont facilement saisi les données pour acquérir une traçabilité sur les prélèvements effectués durant la campagne.

Ces démarches, encore très individuelles et isolées, attestent, toutefois d’une volonté, d’une forme de curiosité qui peut déboucher à terme sur des véritables rôles de « porte-paroles » pouvant stabiliser le réseau. *« Le problème c’est d’apprendre en permanence avec des logiciels. Donc je n’ai pas envie, c’est déjà tellement de travail de collecter des données sur le terrain, si en plus il faut que tu maîtrises je ne sais combien de logiciels... Moi je veux bien il faut que ce soit simple. Je ne veux pas aller vers des usines à gaz. Si tu ne les pratiques pas, tu les oublies. Donc il faut se replonger. Moi il faut vraiment que ce soit utile. Vous les outils que vous avez faits*

c'est facile, vous avez compris comment les faire » (Interview 2). Même si on se situe encore dans une phase précoce d'enrôlement et de motivation du groupe de chercheurs, ce passage traduit déjà d'une familiarisation avec l'outil. Des porte-paroles se sont clairement identifiés. Ce sont des personnes stratégiques sur lesquelles le géomaticien s'appuiera pour solliciter de l'aide. Ces chercheurs « porte-paroles » ont des points communs : ils ont une expérience ou un usage de la carte avancé ou bien ils sont familiers des outils informatiques qui sont intégrés dans leur méthodologie. L'expérience des outils informatiques est aussi générationnelle. Les nouvelles générations mobilisent rapidement et logiquement les outils, l'apprentissage demande moins de temps. Pour intégrer les autres acteurs, la démarche sera plus longue, elle doit tenir compte de l'apprentissage qui prend du temps. La principale raison n'est pas liée à des réticences technologiques, mais plus au fait que le fonctionnement est imposé par d'autres. Christophe Tufféry, mentionne également ce choc générationnel dans l'outil informatique à l'INRAP et démontre que les réticences proviennent des fonctionnements imposés par d'autres (Tufféry, 2019).

À terme, la question des alliances concernant l'outil webSIG, reste discutable. Si le mode de fonctionnement paraît s'ancrer progressivement, le type de dispositif cartographique risque d'être amené à évoluer. Le système ESRI est fiable et fonctionne cependant cette dépendance vis-à-vis de Huma-Num ne permet pas une administration totale des données et un contrôle immédiat, les utilisateurs sont tributaires du serveur et du renouvellement des licences, ce qui à terme peut poser un problème. Ce type de fonctionnement doit alors être rapidement anticipé surtout si les acteurs y sont déjà engagés.

2.7. - Impact, changements et usages du Géoweb pour l'équipe de recherche

2.7.1. - Retour sur des leviers d'action pour la recherche collective

2.7.1.1. - Replacer le chercheur au cœur dispositif : un moyen accès à l'information

La mise en place du webSIG a permis de repenser la place de l'outil et a suscité un changement organisationnel dans l'accès aux informations spatiales. Le SIG a été identifié comme une solution pour la gestion de la masse d'informations et le suivi documentaire, mais des controverses sur l'usage des données ont créé une forme de désintéressement pour les chercheurs. Ces critiques se sont avérées constructives pour replacer le chercheur, acteur central du SIG dans la collecte de ses données. L'enjeu a été rapidement de lui accorder une visibilité directe, immédiate sur l'état

de la collecte et du suivi dans et hors de la grotte. Cette harmonisation des connaissances à un niveau horizontal a instauré un climat de confiance et de dialogue pour réenvisager l'utilisation du SIG dans leur pratique spatiale.

La question de la place du chercheur en tant initiateur et gestionnaire de ces données paraît aujourd'hui essentielle dans la recherche en grottes ornées. En effet, une prospection en grotte est différente de celle d'une fouille archéologique. Dans un processus de fouille, l'archéologue n'est pas le principal acteur dans la collecte d'informations. Le directeur de chantier s'occupe de la fouille, coordonne, enregistre la position des vestiges, il prend une responsabilité dans l'enregistrement des objets et dans l'étude de site. Les archéologues et spécialistes apportent des éléments sur le mobilier extrait des couches du sol. Le responsable de fouille en relation avec les spécialistes remet alors en perspectives ces résultats en relation avec la zone excavée. Le travail en grotte ornée présente une organisation différente. L'archéologue ne passe pas par l'intermédiaire d'un fouilleur, mais récupère directement ses informations et ses données. C'est la raison pour laquelle il doit être le principal acteur de sa collecte d'informations, car lui seul est à même d'analyser les relations entre les vestiges.

La production des données géographiques est par essence collaborative et doit être le reflet de cette co-construction des connaissances. Si le chercheur ne participe pas au processus d'acquisition et de construction des données, l'information peut rester inerte, les positions géographiques faussées et les données inexploitablement risquent d'augmenter. Les croisements d'informations seront également moins pertinents, car c'est la confrontation des données entre les chercheurs qui peut motiver la collecte et l'acquisition de nouvelles informations. L'acquisition a des conséquences directes sur le type et les moyens d'enregistrer la donnée et en aucun cas le géomaticien ne doit se substituer à un chercheur dans l'identification et l'enregistrement de cette information.

2.7.1.2. - Construire un réseau socio-numérique

Si aujourd'hui le webSIG se dessine comme la solution la plus fiable pour réaliser la collecte des données. La stratégie de déploiement n'en reste pas moins complexe. Cette phase de mise en place a souligné l'importance d'élaborer un réseau afin d'intégrer les acteurs à ce processus. Cette élaboration en réseau a abouti à des alliances sur lesquelles il est aujourd'hui possible de se reposer. Ce sont ces liens avec les porte-paroles qu'il faut privilégier, et construire, c'est grâce à eux que le réseau va se stabiliser.

En mettant en place la grille d'une lecture par l'ANT, j'ai essayé de démontrer que la mise en place d'un SIG à l'échelle d'une équipe n'est pas un acte anodin. S'il dépasse le cadre des recherches personnelles et qu'il implique les données d'autres personnes, il faut en définir le périmètre, clarifier et formuler les objectifs, identifier les intervenants potentiels et en exprimer les usages. Les services publics et privés mobilisant la géomatique sont alors des exemples à observer afin de comprendre l'étendue des controverses possibles et envisager des solutions fonctionnelles dans la mise en place de ces pratiques. C'est pourquoi le mode d'organisation et de répartition des services des collectivités territoriales peut servir d'exemples pour observer comment un pôle géomatique s'intègre aux équipes et à ces besoins. C'est en redéfinissant les rôles et en repensant l'organisation que l'on peut rendre la collecte efficace. La mise en place de porte-paroles dans chaque discipline, appelés à mener un rôle d'intermédiaires, formés à l'utilisation de l'outil pour collecter les informations et capables de rediffuser les informations auprès de l'équipe, peut rendre la collecte facile. Cette distribution et organisation des rôles semblent aujourd'hui nécessaires pour relayer et acquérir une bonne qualité des informations spatiales. Les référents visualisant les problématiques d'étude et familiers de l'utilisation du webSIG peuvent être une configuration à adopter.

La consolidation d'un réseau sociotechnique repose sur un dialogue constant, et une perpétuelle remise en question des rôles et besoins qui sont amenés à évoluer. Temps de formation sur le terrain, temps de travail théorique, dialogue entre acteurs sont à encourager, car le succès d'une innovation dépend de cette capacité à faciliter et à stimuler cette mise en réseau des acteurs. Comme le souligne Henri Pornon et Matthieu Noucher, les « *SIG mille-feuilles* » désignant l'empilement des connaissances, ne suffit pas à rendre compte d'une connaissance collective d'un territoire ou d'une zone géographique. La stratégie de mise en place doit être axée à la fois sur la pratique de l'outil, mais elle doit également faire naître un sentiment d'appartenance au réseau (Pornon et Noucher, 2007). C'est ce type de pratique qui permet de discuter et de décider ensemble. La mise en place d'un SIG collectif repose sur l'identification d'objectifs communs. Et avant même de rechercher comment intégrer l'information, il faut travailler sur comment intégrer au mieux les acteurs. Comprendre les attentes, les projections et les représentations diverses est plus complexe à définir que la mise en œuvre d'une solution cartographique.

2.7.1.3. - Le géomaticien vers un rôle multiple

Dans le cas d'un déploiement d'un SIG en grotte ornée ou dans le cadre d'autres fouilles, les ressources humaines et matérielles sont réduites, à la différence d'une

entreprise privée. Dans le cadre de l'étude d'un site, le géomaticien peut être amené à endosser différents rôles dans le déploiement d'un dispositif cartographique, il est à la fois concepteur, innovateur, traducteur, mais également facilitateur.

Il est tout d'abord « innovateur ». Durant la phase de projet, il propose une innovation comme une voie de changement en réponse à un problème donné. Il est convaincu que l'innovation qu'il propose est fiable, et va être utile « *En effet, l'innovateur innove parce qu'il perçoit que l'innovation recèle une valeur économique, scientifique, voire éthique (Fuhrer et al., 2017, p.8)* ». Ce terme d'innovation va ensuite faire écho au terme de concepteur décrit notamment par Madelaine Akrich. Michel Callon parle également d'un « ingénieur-sociologue », car dans le déploiement d'un projet ou d'une innovation, l'ingénieur est amené sans réellement s'en rendre compte à réaliser un travail de sociologue. Il cherche à ce que les gens adhèrent à son projet (Flichy, 2008). Il va inscrire dans son objet, sa propre vision du monde (Callon, 1986).

Le géomaticien peut être le « traducteur » d'un projet. Il devient gestionnaire d'un projet : il identifie les attentes, les besoins, il est attentif aux dates de remises et au coût financier du développement. Il peut endosser ce rôle de gestionnaire de projets sans être réellement désigné en tant que tel (Rorive, 2003).

Enfin le rôle du géomaticien une fois le dispositif cartographique mis en place a un rôle de « facilitateur » comme le décrit Matthieu Noucher dans sa thèse. Selon lui le facilitateur est « *conscient des possibles freins culturels, sociologiques et cognitifs, il doit chercher des leviers d'action favorables aux principes dialogiques liés à l'adaptation cognitive, à la projection individuelle et à la négociation collective. Le facilitateur doit, en particulier, aider les participants à alterner les phases centrées sur l'expérience et celles focalisées sur les attentes* » (Noucher, 2010). Ce dernier rôle est en réalité une posture générale à adopter. Le travail de collecte de données doit se faire en co-construction, dans le sens où le géomaticien joue un rôle actif, de contrôle de normalisation, de préconisation et de conseils. Dans le cadre de l'application GeoData Chauvet, la création et le contrôle de ces couches nécessitent une intervention pour contrôler et vérifier que les informations sont correctement normalisées et rentrées. Il met en place des outils adaptés, il essaie de trouver des solutions et encourage les démarches numériques.

2.7.1.4. - Vers une considération de la place des cartes dans le travail collectif

Le webSIG devient un espace cartographique collaboratif. C'est un espace dématérialisé, interactif et modulable, chaque acteur s'approprie et tire parti des informations collectées.

Les usages de la cartographie sont alors multiples : vérification de la date ou emplacement d'un prélèvement, il permet la consultation ou la création de cartes et de rapports.

Le mode de fonctionnement de la cartographie collaborative permis par le géoweb crée un espace numérique de travail ouvert au travail collectif qui se construit avec des connaissances individuelles. La carte est un outil didactique et pédagogique où les membres de l'équipe visualisent ensemble le terrain, s'accordent sur des zones, il est aussi possible de se projeter dans les imaginaires individuels et de prévoir les avancements ou les collectes à venir.

La carte est le support fictif d'une projection commune du terrain. C'est une dématérialisation du terrain qui pendant les réunions suscite la discussion, les échanges, la confrontation des points de vue et la mise en action des opérations à venir (Figure 21). La carte collaborative fait écho au concept d'objet frontière. L'objet frontière est défini « *comme un objet suffisamment flexible pour s'adapter aux besoins et aux nécessités spécifiques des différents acteurs qui les utilisent et qui sont suffisamment robustes pour maintenir une identité commune* » (Star et Griesemer, 1989). Les objets frontières peuvent être matériels et conceptuels, ce sont des objets qui permettent le dialogue et la communication entre différents mondes. Ils sont suffisamment maniables pour convenir à chaque acteur, mais également puissants pour maintenir une identité commune. Ce sont des objets ou des concepts qui servent l'intérêt commun.

Le concept d'objet frontière se retrouve également chez Patrice Flichy, qui introduit l'idée d'un passage d'un objet-valise à un objet-frontière. Ce passage à l'objet frontière se matérialise, par une transition des utopies, des fantasmes, ou concepts relativement abstraits à une réalité plus concrète et simplifiée. L'élaboration de l'objet-frontière se concrétise par le verrouillage d'un cadre sociotechnique sur la création de l'objet (Flichy, 1995). Cet objet devient alors le résultat de projections, débats passés et d'une compréhension formulée par chaque acteur (Chambat, 1995). Le concept d'objet-frontière est en lien avec la théorie des réseaux et accentue l'importance des objets dans la mise en place d'un réseau sociotechnique. Le réseau sociotechnique, le dialogue, le partage se font alors sur l'objet et son usage.

La carte ou dispositif cartographique a souvent été évoqué comme objet frontière. Par sa restitution visuelle, synthétique et simplifiée de l'information, elle est compréhensible pour de nombreux acteurs, qui peuvent se l'approprier. Le processus cartographique implique une réflexion mise en forme et d'une restitution claire de l'information d'où son aspect souvent accessible « *Les supports cartographiques étant facilement appropriables par les acteurs et citoyens, ils constituent des supports partagés pour construire des référentiels communs et coordonner l'action collective (Vinck, 2009) » (Rey-Valette et al., 2020, p.2).*

Le devenir de la carte collaborative qui ne se construit pas dans des référentiels disciplinaires, mais une harmonisation collective. La carte collaborative se présente comme un objet-frontière en devenir. Elle est suffisamment maniable pour permettre de collecter une information multiple et diversifiée, mais reste stable, car elle se construit à l'échelle de la grotte et incarne alors un espace de travail bien défini. Si les objets frontières peuvent naître d'organisation spontanée entre acteurs, elles peuvent également être issues d'une construction délibérée sur laquelle il est possible d'agir. Nous avons indirectement joué sur la maniabilité de l'objet pour qu'il puisse s'adapter à plusieurs disciplines. Se pose néanmoins la question de savoir si cet objet est suffisamment flexible conceptuellement pour que les acteurs puissent y trouver des usages et y établir leur propre référentiel ?



Figure 21 – Support cartographique lors d'une réunion d'équipe, février 2020, L.Louman.

2.7.2. - Une lecture critique de l'apport des « pratiques numériques »

2.7.2.1. - L'investissement numérique : un équilibre complexe

Si les pratiques numériques sont devenues communes et si l'usage de ces outils s'est développé à la grotte Chauvet, la place et les apports de ces techniques restent à nuancer.

En questionnant les différentes pratiques méthodologiques, malgré la batterie d'outils déployés, le carnet papier se présente comme le meilleur support pour collecter les observations. À la différence du relevé informatique, la transcription sur le papier s'avère plus adaptée pour noter les données, elle est considérée comme plus sûre, plus rapide et plus sécurisée :

« – Mais le papier c'est toujours sécurisant c'est plus pérenne, car avec l'informatique il peut y avoir des bugs on peut perdre les relevés informatiques donc il faut faire des copies... c'est finalement peut-être plus rapide sur papier » (Interview 2).

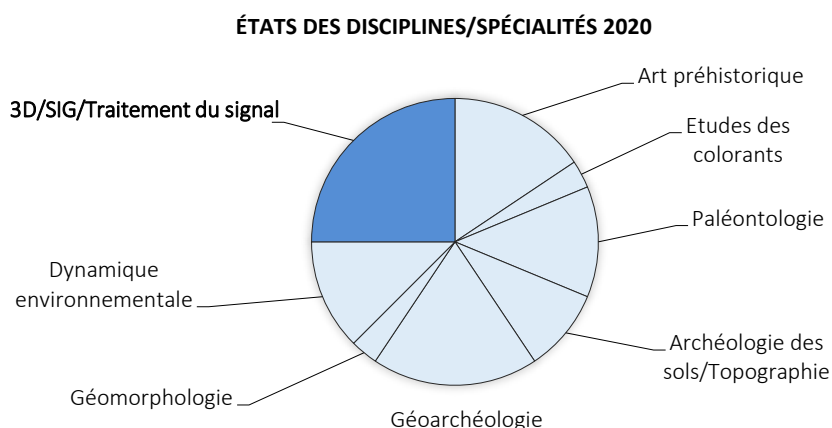
« – J'y vais avec mon carnet de notes, un crayon, sans stylo, car cela se casse au fond des sacs. Un crayon, un double mètre et l'expérience permettent d'être assez efficace pour avoir un descriptif » (Interview 3).

« – J'écris mes données, je commence à avoir une vision, mais c'est une espèce d'automatisme il faut que je passe par le papier » (Interview 1).

Pour les chercheurs, le support papier offre un gain de temps, moins de contraintes, contrairement aux outils numériques qui imposent de nombreuses manipulations. L'ensemble des chercheurs, toutes disciplines confondues, affirment qu'il offre plus de liberté, que certaines tâches sont réalisées plus simplement et plus rapidement avec la prise de notes. Il reste la meilleure alternative pour l'observation et la collecte d'informations. Le papier et le crayon ne demandent pas d'investissement, ils sont utiles et présentent une sécurité pour l'utilisateur. Aussi, les outils numériques ne doivent pas se substituer à une méthode qui fonctionne, mais s'insérer dans l'existant pour apporter une plus-value afin que chacun y trouve un bénéfice. Dans cette perspective, la place des outils numériques demande à être repensée, mais surtout anticipée.

L'autre inconvénient, soulevés par les chercheurs, est l'investissement long, excessif, que ces outils numériques exigent en moyen humain, technique et financier. Depuis 2002, le nombre de personnes travaillant dans le « pôle » numérique à Chauvet, a fortement augmenté. Aujourd'hui c'est le secteur le plus représenté en termes de personnes (Graphique 2). Pourtant ces chercheurs ne conduisent pas une recherche fondamentale, mais s'appliquent à acquérir des supports et de documents de travail à l'intention des autres disciplines. Ils ne travaillent pas essentiellement

sur des problématiques chronologiques, artistiques, ou de déplacements, mais sur l'adaptation de méthodes d'études pour la grotte.



Graphique 2 – Liste des membres par discipline à partir du rapport 2020, L.Louman.

Les progrès techniques ont indéniablement amené de nouveaux standards d'exigence pour la recherche. Il faut cependant pondérer ce qu'il est possible d'être fait et ce qu'il est efficace de faire. L'ère du numérique a multiplié le nombre de logiciels à utiliser, mais ce changement méthodologique suscite de nouveaux questionnements quant à leur efficacité. C'est un temps chronophage, qui impose aux chercheurs une capacité d'adaptation importante sans qu'ils y trouvent forcément un grand bénéfice pour leur recherche :

« – Le problème c'est d'apprendre en permanence avec des logiciels. Donc je n'ai pas envie, c'est déjà tellement de travail de collecter des données sur le terrain, si en plus il faut que tu maîtrises je ne sais combien de logiciels... Moi je veux bien il faut que ce soit simple. Je ne veux pas aller vers des usines à gaz » (Interview 2).

« – Oui je pense que les gens plus jeunes ne se rendent pas compte à quel point nous sommes obligés de nous adapter. Nous avons appris des méthodes et il a fallu tout réformer » (Interview 3).

« – Car si tu comptes le nombre de logiciels à maîtriser entre le terrain le laboratoire la production de documents ça fait pas mal ! Et il y a une multiplication de ces logiciels. Si c'est pour gagner en efficacité, en rapidité, c'est très bien. Mais si c'est pour la beauté du geste, non ». (Interview 2).

Le bénéfice de ces outils est également remis en question par les utilisateurs avertis du numérique :

« – Si on voulait être caricatural, on pourrait encore aujourd'hui faire des recherches très précises en utilisant le fil à plomb et en faisant des relevés au rottring. Nous sommes encore un certain nombre à pouvoir continuer sans. » (Interview 4).

« – *Ce n'est pas systématique, mais cela m'arrive assez souvent de me dire en quoi le numérique nous apporte quelque chose ?* » (Interview 5).

Une bonne innovation doit assurer la sécurité des données et apporter réellement une plus-value à l'analyse de l'objet étudié, ce sont des conditions principales à la réussite du projet. Le déploiement des pratiques numériques comme l'acquisition photogrammétrique ou la création d'un SIG implique que l'on adapte ces techniques à des besoins humains, techniques et financiers. Les SIG et la photogrammétrie ont connu « *l'effet de mode* », une tendance à l'utilisation du numérique plus pour des questions d'innovation que pour des besoins réels. Cet effet tend aujourd'hui à s'atténuer (Rodier, 2016 ; Costa et Desachy, 2021). Si leur apport est aujourd'hui incontestable, leur ancrage et leur place dans une dynamique de recherche restent encore à définir.

Les outils, du fait de leur transversalité ont vocation à rassembler, mais dans certains cas ils produisent un effet inverse : ils cloisonnent et isolent certains acteurs. L'utilisation et la maîtrise de l'outil nécessitent l'acquisition de connaissances importantes, de manière continue, si bien qu'un écart peut se créer entre les chercheurs, qui possèdent cette maîtrise technique et ceux qui n'ont plus envie de se former. Dans ce cas, l'utilisation d'outils numériques n'est plus une démarche interdisciplinaire ni inclusive, surtout si elle est imposée aux acteurs. L'usage du numérique peut créer des écarts d'approche et devenir alors clivant :

« – *Ce que je regrette c'est que l'on a moins ce regard croisé au sens physique, cette discussion à bâtons rompus devant un tas d'ossements par exemple. Et il ne faudrait pas, sous couvert d'avoir un outil commun, que ça coupe, ce qui pour moi est la priorité, ces contacts humains* » (Interview 3).

2.7.2.2. - Le webSIG : changement, transfert ou existence d'une pratique cartographique ?

Si la question de l'usage du webSIG pour la collecte d'informations et la consultation de données a été abordée, et si on comprend que le manque d'identification d'usage ou de représentativité est un facteur qui peut expliquer le désintérêt pour l'outil, cette question de l'usage du webSIG mérite néanmoins d'être réexaminée. La place de la pratique spatiale et de la cartographie dans l'expérience individuelle et disciplinaire doivent être questionnées. On peut également se demander si la collecte de ces données via un webSIG est compatible avec les fonctionnements et les habitudes méthodologiques de chaque discipline. C'est à travers des entretiens individuels que l'on peut comparer des chaînes opératoires d'acquisition. Toutefois si ces entretiens individuels traduisent la pratique

méthodologique d'un individu et apportent des indications sur le processus opératoire de chacun, ils ne peuvent pas être représentatifs de la discipline. Chaque chercheur possède des habitudes méthodologiques qui s'ancrent dans la discipline, dans le protocole d'étude défini en amont de l'étude d'un ensemble. Cela est notamment flagrant dans l'art pariétal :

« – *Quand on va interroger nos collègues qui travaillent sur de l'industrie osseuse ou qui font des enregistrements du bâti, on voit dans tous ces champs disciplinaires que la méthode est très normalisée et donc elle est interopérable... [...]. Ce n'est absolument pas le cas dans l'étude d'art paléolithique, qui est pourtant dans le domaine de l'archéologie* » (Interview 5).

La question de la spatialité en archéologie est complexe, car les chercheurs mobilisent le contexte spatial pour documenter leur découverte. L'information spatiale est inhérente à n'importe quelles données archéologiques (Rodier et al., 2011). Toute étude archéologique repose nécessairement sur une dimension spatiale, car le raisonnement archéologique s'appuie sur la mise en relation des éléments, sur leurs liens, afin d'obtenir une vision complète de l'occupation. Cette lecture spatiale peut être implicite, car elle ne se traduit pas obligatoirement par une pratique méthodologie spécifique. Les entretiens ont permis de comprendre la manière dont la collecte d'informations était opérée et comment les archéologues utilisaient la cartographie (Tableau 3). Une comparaison des chaînes opératoires d'acquisition réalisée à partir des entretiens individuels traduit la pratique méthodologique d'un individu et non celle d'une pratique disciplinaire (Figure 22). Toutefois cette analyse apporte des indications sur le processus opératoire dans chacune des disciplines.

Les chercheurs en ichnologie ou en paléontologie, archéozoologie, taphonomie, étudient la présence animale dans la grotte, en utilisant des approches situationnelles qui s'adaptent à un contexte. Les méthodologies relevées s'intéressent à l'étude des empreintes à Chauvet et la seconde à la collecte de données écologiques¹¹ pour créer des modèles fossiles de comparaison. Dans le premier cas, l'observation reste une constante tout au long de l'acquisition des informations, l'approche des traces s'effectue en différentes étapes et amènent fréquemment à comparer les informations aux données contemporaines. L'utilisation des données spatiales ou d'un outil SIG n'est pas forcément systématique. Dans le cas des données écologiques on constate que l'acquisition de données spatiales passe par le relevé GPS bien amont du processus de collecte.

¹¹ Les données écologiques portent sur des sujets fauniques contemporains. Elles peuvent être aussi bien des ossements que des localisations géographiques liées à la fréquentation animale sur un territoire donné.

Dans ce cas, il n'y a pas de règles prédéfinies en matière d'utilisation de cartographie ou de données spatialisées. Elles n'apparaissent pas systématiques, mais plus situationnelles.

En géologie, la « pratique cartographique » est une démarche ancrée, car elle est enseignée dès le début de la formation à l'université. C'est un moyen pour visualiser et traduire l'information, si bien qu'elle devient un résultat et une interprétation. La pratique est donc systématique, en grotte ou à l'extérieur et les géologues sont habitués à travailler avec des outils géographiques et à les comprendre.

| Disciplines | Géologie | Ichnologie | Ecologie | Expertise Grotte ornée | Art pariétal |
|-------------|--|--|---|---|--|
| Étape 1 | « On commence par l'observation, la reconnaissance, la compréhension. » | « Ce sont mes notes » | « Je me balade avec mon GPS » | « Un crayon, un double mètre et l'expérience permettent d'être assez efficace pour avoir un descriptif. » | « Une première étape où l'on va observer et cartographier » |
| Étape 2 | « Enregistre par l'ortho, photographie/on a le support cartographique. On utilise à la fois le fond topographique ; tous les documents qui sont extraits du relevé 3D. » | « Je fais beaucoup de photos pour avoir la morphologie/Je les multiplie pour avoir des modèles 3D. » | « J'ai noté toutes mes observations/J'ai observé une distribution spatiale. » | « L'enregistrement c'est dans un deuxième temps, c'est le début de la recherche. » | « Il y a une observation plus spécifique où l'on doit être capable d'attribuer une identité à ce que l'on a relevé. » |
| Étape 3 | « On utilise le concept de la cartographie pour reporter nos observations, nos données » | « Je vais aussi tenir compte des distances/Je vais décrire le train de marche » | | | « La phase suivante de l'exercice du relevé c'est de composer avec l'ensemble de ces observations, de les traiter, de les croiser. » |
| Étape 4 | « Pour représenter ce que l'on voit avec une partie interprétative » | « J'associe une observation macroscopique que j'essaie de pousser plus loin avec des acquisitions de données topographiques. » | | | |
| Étape 5 | « Ensuite on fait de l'analyse par prélèvements » | « Le but du jeu est de croiser cela [...] avec les données écologiques » | | | |

Tableau 3 – Processus d'acquisition des données par étude à partir des entretiens réalisés.

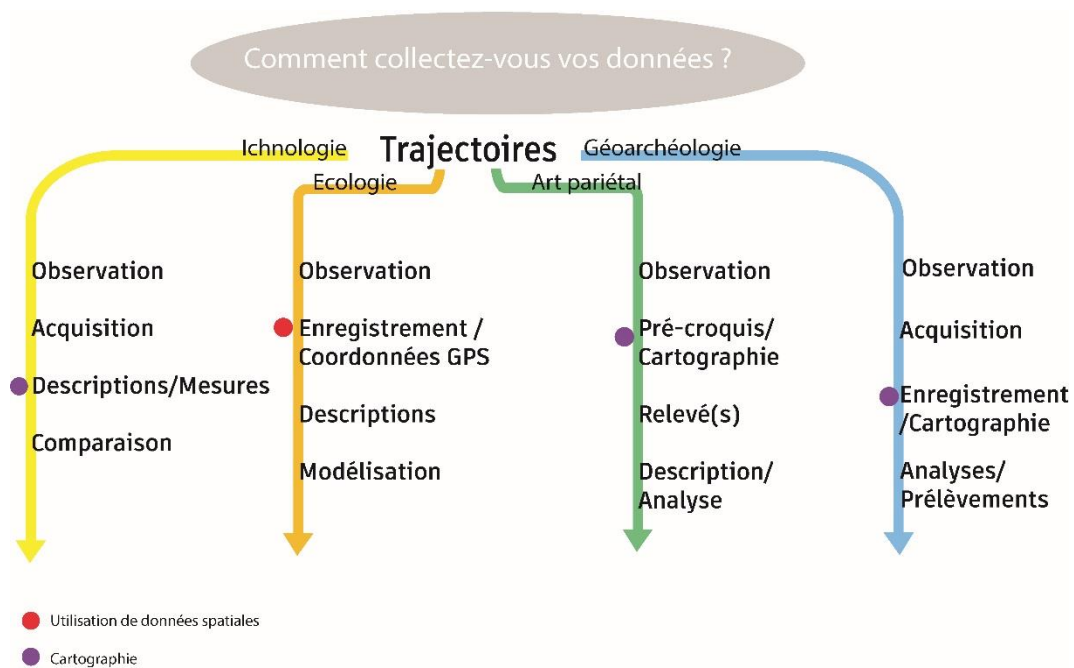


Figure 22 – Trajectoires de collecte des données d'après les entretiens menés, L.Louman.

Dans le domaine de l'art pariétal c'est plus complexe. La discipline se construit sur un document, le « relevé » qui est à la fois une démarche méthodologique de compréhension de la paroi, mais désigne également la production d'un document final. L'observation préalable et la création du relevé sont des moyens analytiques et sont une norme partagée par la communauté de préhistoriens spécialistes d'art. Ils sont beaucoup moins standardisés que pour les autres disciplines. Dans le cadre de l'entretien mené, le terme de « cartographie » est apparu central pour l'interviewé. Il se positionne en rupture avec les protocoles traditionnels en visant une approche collaborative et interopérable de la paroi :

« – Il y a un magnifique mammoth peint je l'ai vu, j'ai fait mon croquis préparatoire, le relevé va être la copie de ce que j'ai vu et ça va être ce que je vais relever en premier. L'image c'est l'entrée dans le relevé. Alors que dans le relevé cartographique, j'ai bien vu l'animal en question, mais pour ne pas être obnubilé par sa présence graphique, je vais plutôt inverser la dialectique, je ne vais pas m'intéresser à lui directement, je vais d'abord travailler sur tout le reste pour finir sur cette information. Donc ce n'est pas la même chose » (Interview 5).

Cette démarche permet, selon cet interviewé, de se rapprocher des autres disciplines :

« – Ça permet plus d'interopérabilité avec d'autres collègues comme les géomorphologues, les géologues, qui sont beaucoup plus habitués à ce type d'analyse, mais cette démarche a beaucoup de mal à trouver une place ou à se proposer comme outil interactif auprès des collègues qui sont traditionnellement assimilés à des gens qui font du relevé d'art pariétal » (Interview 5).

Dans ce cas de figure, propre à l'art pariétal, la démarche de « cartographie » de la paroi est assimilée à une volonté individuelle, ou à un groupe de personnes, mais ne reflète pas les méthodes de l'ensemble de la discipline.

Ce tour d'horizon de la pratique cartographique ou de l'utilisation de données spatiales apparaît très différent. Il existe un travail méthodologique commun à ces chercheurs comme l'observation, mais la place occupée par la carte n'est pas la même dans le processus opératoire de chacun. Elle est fonctionnelle pour le géologue et arrive en amont du processus opératoire pour comprendre et traduire un phénomène. Le plan est plus situationnel en ichnologie, il présente des observations de terrain et scelle des résultats entre les chercheurs de la discipline. Certaines disciplines mobilisent ce type de support, pour avoir une image de la topographie de la grotte et pour reporter la distribution des éléments. La carte reste un outil fonctionnel. Cependant, elle n'est pas présente dans toutes les disciplines ou bien n'est adoptée que postérieurement dans le processus opératoire et parfois elle n'est pas du tout mobilisée. Son utilisation est différente d'un chercheur à l'autre. La question de sa pratique reste variable et on peut se demander comment utiliser un outil webSIG qui ne repose pas sur une pratique ou un ancrage antérieur.

Si l'on compare cette pratique cartographique avec deux autres outils techniques, la photogrammétrie et le SIG, on constate que ces outils n'ont pas connu la même évolution. La photogrammétrie et l'acquisition 3D remportent un franc succès dans la recherche en grottes ornées. La photogrammétrie comme en témoignent les nombreuses publications s'est pleinement intégrée aux études des archéologues qui se sont formés à ces outils. Elle est une innovation réussie, elle a remplacé une pratique photographique précédente, elle est indispensable aux chercheurs, elle est introduite dans les protocoles des archéologues qui en voient l'utilité. Elle a remplacé où a complété la prise de photos et s'intègre parfaitement dans la chaîne de traitement de l'information. Les archéologues ont vu les bénéfices de la dématérialisation par le 3D de leur objet d'étude. Ainsi elle s'est imposée à l'ensemble des acteurs et son utilisation a permis de créer un réseau d'usagers.

L'utilisation des SIG connaît une finalité bien différente, car c'est une approche indépendante, la cartographie n'est pas aussi systématique que la photographie pour les archéologues. Elle n'est pas présente dans les protocoles d'études en archéologie au même titre que la photographie. Si la carte est une étape incontournable pour les topographes et géologues, elle est moins utilisée par les autres disciplines.

On peut alors s'interroger sur le sens « d'une pratique cartographique » si dans certaines disciplines, elle possède une place annexe. Inciter les acteurs à adopter ce type de pratique reste alors complexe.

2.8. - Conclusion

L'introduction de systèmes d'information géographique dans la recherche collective suscite de nouvelles problématiques et implique de nouvelles méthodes de travail. Dans le futur, les outils numériques dans la recherche seront incontournables et ces dispositifs numériques se banaliseront dans les équipes.

La quantité de données acquises dans les grottes ornées a augmenté de manière exponentielle, seuls les outils sont à même de traiter et de gérer ce flux d'informations. Il est donc nécessaire de proposer des solutions techniques pour assister la recherche collective et la production d'études. Si les SIG sont une solution adaptée à l'étude qui permet de rassembler une masse d'informations étudiée dans une grotte, en faire un outil réellement collaboratif reste un enjeu difficile à atteindre, car l'ensemble des acteurs doit y trouver un intérêt personnel. Dans le contexte de notre recherche, les chercheurs ont des profils variés, des méthodologies de travail et des expériences différentes. Ils ont chacun un rapport privilégié avec leur objet d'étude. La traduction de leur objet en cartographie ou en représentation spatiale implique déjà une projection sur le traitement à venir ou sur les possibilités d'analyse qui sont plus ou moins naturelles selon les disciplines.

Dans cette perspective, il est apparu opportun d'envisager le géoweb comme une solution adaptée à la collecte et à la consultation de l'information spatiale. Le temps à ce projet est limité, à cause de la recherche doctorale qui s'effectue en parallèle, et ne permettait pas le déploiement d'un dispositif de grande envergure, c'est donc une solution rapide, adaptée aux acteurs et à leurs problématiques qui a été appliquée. Ce dispositif web cartographique est aujourd'hui fonctionnel sur le terrain et est amené à évoluer. Après son déploiement un temps de travail s'est avéré nécessaire pour comprendre son impact dans les pratiques. Une grille de lecture dérivée de la sociologie de la traduction nous a alors permis de mieux comprendre les enjeux et les intérêts du géoweb à Chauvet. Elle nous offre aujourd'hui des leviers d'action concrets sur lesquels nous pouvons nous appuyer pour mobiliser les acteurs dans ce projet collaboratif. Ce sont aussi des préconisations qui visent à encourager et à faciliter les démarches de déploiements futurs.

Même s'il semble aujourd'hui prématuré de parler de réussite ou d'échec dans le cadre de ce dispositif, ce travail fait apparaître de nouveaux éléments de réflexion comme l'importance de la place du chercheur au centre de l'acquisition, essentiel pour témoigner pour rendre compte de la recherche en cours. Déployer un SIG n'est pas acte anodin et doit reposer sur l'identification d'un objectif commun et sur des échanges réels avec les acteurs concernés pour qu'ils se sentent impliquer dans ce

dispositif. Le géomaticien occupe une place stratégique, car il intervient autant dans la conception, dans l'accompagnement, la formation et le suivi du projet.

Les résultats obtenus ont également permis aussi de nuancer l'apport et l'introduction de ces outils qui demandent un temps d'adaptation auprès des acteurs qui n'en voit pas forcément l'utilité directe. L'investissement en termes de ressources, matérielles, financières et humaines est quelquefois trop conséquent par rapport aux besoins réels. Ces outils ont vocation à être interdisciplinaires et collaboratifs, mais peuvent au contraire devenir clivants si l'ensemble des acteurs ni adhère pas. Ainsi la question de l'utilisation d'un outil webSIG implique un questionnement sur la place de la cartographie dans les processus méthodologiques. Comme nous l'avons démontré, la photogrammétrie s'est intégrée aisément aux méthodes archéologiques et s'inscrit dans la continuité de la place occupée par la photographie. Si le webSIG ne prend pas une place spontanée et comparable à la photogrammétrie, cela tient en partie au fait que la cartographie n'est pas une pratique méthodologique systématique ancrée dans l'acquisition de l'information comme peut l'être la photographie.

Comme l'a démontré Campbell, la mise en place des SIG en général et leurs échecs ne sont pas dus à des questions techniques, mais liés à des problèmes organisationnels, d'où l'importance de mener une réflexion plus sociale lors de la mise en œuvre de l'outil « *les études sur l'introduction de systèmes informatiques dans les organisations ont montré que les améliorations marginales, les problèmes imprévus, ou même les échecs complets étaient beaucoup plus courants que les réussites. Les problèmes techniques ne sont pas responsables de l'échec des projets, mais tendent plutôt à renforcer les problèmes organisationnels existants (Campbell, 1993) » (Pornon, 1998, p.18).*

Le travail à Chauvet est en cours, nous allons intégrer une place importante à la dimension sociotechnique, cependant il faut rester réaliste sur le rôle et les limites de ce type de dispositif. En guise de perspective il serait enrichissant de repartir de l'observatoire Geopratiq mis en place dans la thèse de Laurent Costa (Costa, 2010 ; 2012). Ce dernier à mener une étude sur les évolutions et les états actuels et usage, cadre et type de projets archéologiques se munissant d'un SIG ou d'un webSIG. Dix années après ce travail analytique, on est en mesure de se demander le devenir de ces portails cartographiques ainsi que les usages qui en sont aujourd'hui faits.

3.- RECONSTRUIRE LES DYNAMIQUES ORNEMENTALES D'UNE GROTTTE ORNÉE PAR L'INFORMATION SPATIALE : L'EXEMPLE DE LA GROTTE DE MARSOULAS (HAUTE-GARONNE, FRANCE)

3.1. - Introduction

Restituer les dynamiques spatiales d'une grotte ornée, revient à s'intéresser aux évolutions, transformations et changements d'utilisation de cet espace, du début de la présence humaine dans la cavité à nos jours. L'une des problématiques associées à l'étude des grottes ornées concerne les modalités d'occupation -période, durée de fréquentation- et plus généralement tout indice informant sur la durée, sur les conditions d'accès et sur son fonctionnement. Rechercher ces modalités de fréquentation implique un croisement des données archéologiques acquises depuis sa découverte, afin d'obtenir une image globale du passé de la cavité. Cependant ce travail est complexe, car chaque ensemble orné présente un contexte conservatoire et archéologique singulier. En effet, les sources documentaires et les données collectées sont d'une part de natures très variées : archéologiques, environnementales ou physico-chimiques. Ensuite, elles ont été rassemblées sur des périodes différentes -anciennes, récentes- et sont, par ailleurs, localisées sur plusieurs zones dans la cavité : sol, paroi, plafond ou en stratigraphie. Compte tenu de la pluralité de ces informations, nous formulons l'hypothèse que la méthode de l'analyse spatiale peut nous aider à croiser ces informations pour mettre en évidence les principales dynamiques chronospaciales de la grotte.

Pour cela, nous allons travailler sur la grotte de Marsoulas. Cette grotte, située en Haute-Garonne, est un exemple adapté à cause de sa complexité archéologique et des nombreuses d'opérations de fouilles qu'elle a connues.

Cependant, avant de questionner ces dynamiques, l'enjeu méthodologique majeur consiste à adapter des outils pour traiter la verticalité des parois. Plusieurs voies sont alors envisagées, car les méthodes de visualisation classiquement utilisées en SIG ne suffisent pas pour appréhender l'irrégularité et la surface de l'information en paroi. La mise en place de ces méthodes permet d'ouvrir trois nouveaux axes de recherche.

Le premier concerne la recherche de structures spatiales propres à la construction du dispositif en relation avec la topographie. Le deuxième se rapporte à la modélisation de la stratigraphie pariétale pour caractériser les relations des superpositions des entités graphiques. Le dernier axe va explorer, avec l'utilisation des SIG, la question des niveaux de sol archéologique, car actuellement ces niveaux de sols ne sont plus conservés.

3.2. - La grotte de Marsoulas : enjeux et applications

3.2.1. - Présentation générale de la grotte

La grotte de Marsoulas est située à 90 km de Toulouse en Haute-Garonne. Du point de vue géologique, cette cavité est le résultat d'une faille entre deux formations calcaires du Thanétien supérieur caractéristique des Petites Pyrénées (Simonnet, 1981 ; Aujoulat, 2013). La rencontre de ces deux parois forme une section dès l'entrée et qui se poursuit jusqu'au fond de la grotte (Figure 23 et Figure 24).



Figure 23 – Entrée de la grotte de Marsoulas, C.Fritz.

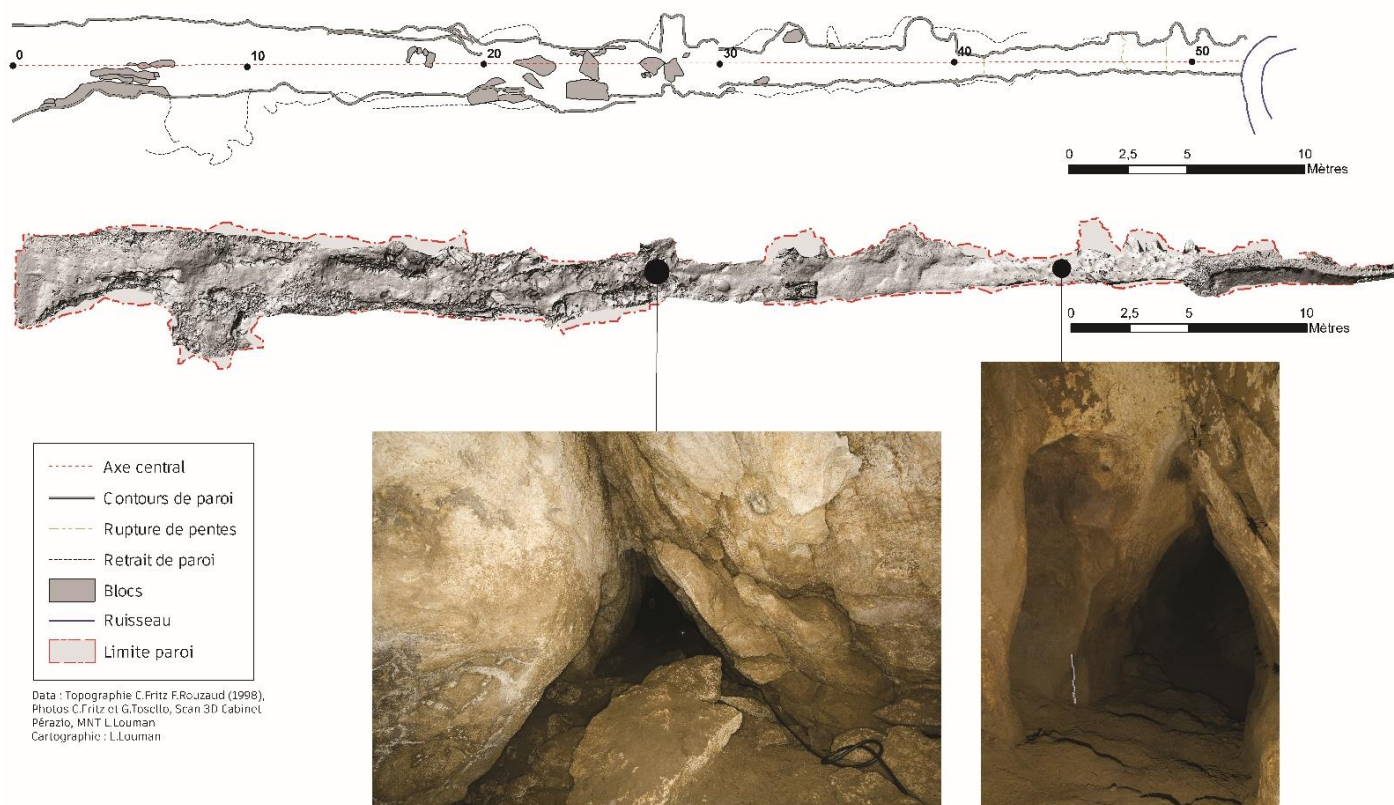


Figure 24 – Grotte de Marsoulas, vue à environ 10 m de l'entrée vers le fond de la grotte, C.Fritz.

La grotte se présente comme un long couloir de 95 m, dont seuls les premiers 45 m ont été fréquentés durant le début du Magdalénien dans les Pyrénées, il y a environ 17 000-18 000 BP (Carte 2) (Fritz et *al.*, 2021). À environ 27 m de l'entrée actuelle, une étroiture modifie la position de cheminement. Elle marque le passage de la posture debout à accroupie sans entraîner de difficultés dans le parcours. La structure de la grotte se compose ensuite d'un pendage important et se termine par un ruisseau souterrain. La présence du Laouin au fond de la grotte ainsi que des résurgences a certainement entraîné des crues qui ont reconfiguré les remplissages (Fritz et Tosello, 2016b). Au sol se trouve de nombreux blocs provenant des parois, et présents dans le dernier niveau stratigraphique de la grotte (Cau-Durban, 1885). Le niveau de sol actuel est bien plus haut que les niveaux archéologiques. La configuration actuelle est le résultat de nombreuses opérations de fouilles qui s'étalent sur plus d'un siècle.

La grotte est de taille modeste et facile d'accès (Vialou, 1996). Seuls deux secteurs apparaissent d'un abord plus malaisé. Le premier est à droite directement après l'entrée, dans cette zone, un amoncellement de blocs sont superposés, le plafond est relativement bas et nécessite de s'allonger pour y accéder. Le deuxième secteur se situe au fond de la grotte. Dans les derniers mètres, en direction du ruisseau, le pendage s'accroît fortement et pénalise la circulation.

Plan topographique de la grotte de Marsoulas



Carte 2 - Plan topographie de la grotte de Marsoulas, L.Louman.

Enfin, les parois de Marsoulas présentent des différences morphologiques. Pour la paroi de gauche, nous remarquons une alternance entre des surfaces plates et des surfaces concaves alors que la paroi de droite est très irrégulière marquée par des aspérités et une surface rugueuse.

Au sein de ce dispositif pariétal, les manifestations graphiques s'étendent le long de ces deux parois depuis l'entrée jusqu'au fond de la grotte. Elles sont organisées en panneaux. Les 27 premiers mètres sont densément ornés. Cette première partie est marquée par la présence d'un ensemble nommé « Grand Panneau peint » composé de 250 entités et réparties sur 6 m de long et sur une hauteur comprise entre 3 et 4 m. Les entités graphiques aujourd'hui relevées pour l'ensemble de la grotte sont proches de 600. Les principales thématiques figuratives comprennent des bisons, des chevaux et les anthropomorphes. D'autres figures sont également présentes comme le bouquetin, l'isard, la biche, le renne, ainsi que des espèces moins communes comme la chouette, le mammoth, le rhinocéros, le lion, l'ours, le renard. Les signes tiennent également une place importante dans la cavité. Peints en rouge et violacé, cette thématique se caractérise par la présence de grands signes barbelés rouges qui mesure pour certains plus de 2,30 m de long. Les signes à Marsoulas sont empreints du contexte pyrénéen, mais témoignent aussi d'autres influences régionales. C'est le cas des tectiformes habituellement connus dans le Périgord ou des signes quadrangulaires qui se retrouvent dans les grottes cantabriques (Fritz et Tosello, 1999 ; 2005). Les associations spatiales sont très fortes à Marsoulas et les thématiques animales sont au contact des signes. Au niveau des techniques, la peinture et la gravure sont aussi bien représentées. Les couleurs mobilisées vont du jaune, orangé, rouge et violacé. Nous noterons également l'utilisation de la polychromie et de techniques d'application moins communes comme l'utilisation de ponctuations rouges notamment pour le remplissage d'un bison (Figure 25). Le bison ponctué est d'ailleurs une figure emblématique de la grotte. Si certaines gravures sont souvent incomplètes ou réduites à quelques segments anatomiques, d'autres au contraire sont particulièrement détaillées (Fritz et Tosello, 2005). L'utilisation du relief est particulièrement marquante. En effet, si des alcôves ou des proéminences rocheuses ont été utilisées pour la réalisation des figures, de nombreuses aspérités ont été employées pour la réalisation des figures (Fritz et Tosello, 2004).

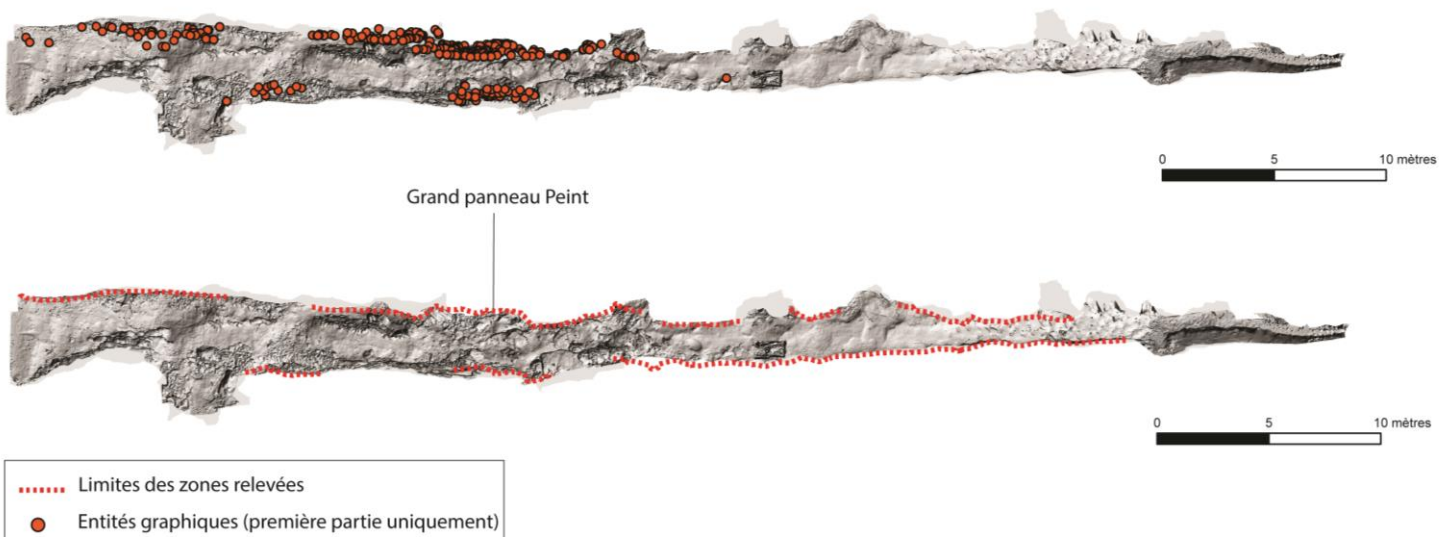
Outre les manifestations pariétales, un large mobilier témoigne de différentes phases d'occupation de la grotte durant le Paléolithique (industrie osseuse et lithique, galets, art mobilier, plaquettes gravées, restes fauniques). Les couches comprenaient également des pièces remarquables comme une conque utilisée en instrument de musique ou un os pénien d'ours percé (Cau-Durban, 1885 ; Fritz et *al.*, 2021).



Figure 25 – Bison dont le pelage est réalisé par de 300 ponctuations rouges faites aux doigts, C.Fritz.

La grotte de Marsoulas se singularise par sa taille modeste, mais avec une densité ornementale importante dans l'ensemble de la grotte (Carte 3). La grotte montre des exécutions graphiques très différentes et pose la question des liens graphiques avec les autres régions. Ces représentations constituent un témoignage exceptionnel dans l'univers rupestre tant au niveau de la diversité des thématiques que des techniques d'exécution utilisées ou que de la qualité esthétique de ces œuvres « *L'art de Marsoulas possède une profonde originalité stylistique, qui n'offre que peu d'équivalents dans les sites de la région pour la période considérée* » (Fritz et al., 2004, p.57).

Plan de répartition des entités graphiques



Data : Délimitation des zones relevées, C.Fritz et G.Tosello, Scan 3D Cabinet
Pérazio, MNT L.Louman
Cartographie : L.Louman

Carte 3 – Localisation des entités graphiques et des zones ornées, L.Louman.

3.2.2. - Contexte historique de l'étude

La grotte de Marsoulas ou grotte des Fées est fouillée pour la première fois en 1881. C'est David Cau-Durban, initié à l'archéologie et à la géologie, durant sa période de formation aux séminaires qui engage la première campagne archéologique. Ses travaux, se concentrent sur la première partie de la grotte, à 17 mètres de l'entrée et témoignent d'une habileté dans la conduite des recherches pour la période (Cau-Durban, 1885). Il met au jour 6 niveaux, dont 3 niveaux d'occupation humaine et dresse un état du mobilier découvert en stratigraphie, composée de pièces remarquables. Mais David Cau-Durban est limité dans ses fouilles, le propriétaire du terrain refuse qu'il évacue les remblais. Il ne mentionne rien concernant l'existence d'art symbolique en paroi – à la fin du XIXe siècle, l'ancienneté de l'art préhistorique n'est pas encore reconnue.

En 1897, Félix Régnauld accompagné de Edmond Hue remarque la présence « *de dessins d'animaux peints à la sanguine* » à 20 mètres de l'entrée (Régnauld, 1902, p.245). À partir de cette date, Marsoulas devient la première grotte pyrénéenne où l'on mentionne des dessins datant du Paléolithique (Régnauld, 1897 ; 1902). Plusieurs relevés d'art préhistorique sont alors réalisés par un universitaire toulousain, Léon Jammes, ils seront publiés dès 1903 (Régnauld, 1903 ; 1905a ; 1905b). Félix Régnauld reconnaît le potentiel de cette recherche. Il voit l'intérêt d'approfondir les fouilles stratigraphiques menées par David Cau-Durban pour comprendre les contextes archéologiques des peintures. Il constate, dans le même temps, les difficultés et la dangerosité des fouilles dans cette grotte qui ont entraîné la chute de gros blocs « *une désagrégation lente de la roche calcaire se produit* » (Régnauld, 1903, p.210). Suite à la visite d'Émile Cartailhac dans la grotte de Marsoulas, Félix Régnauld étend les fouilles vers le fond de la grotte dans le prolongement du premier secteur fouillé par Cau-Durban. Les conditions de ces fouilles ne sont ni détaillées, ni publiées.

L'abbé Breuil, entreprend en 1903, sur la demande de Félix Régnauld, l'étude et le relevé des figures, qui seront publiées en 1905. Sur les centaines de figures constatées, seules, une dizaine seront publiées (Breuil, 1952a). Sur la base de ces observations et relevés, il distingue différentes périodes d'occupation, en s'appuyant sur les superpositions des techniques et des styles des réalisations. Il proposera un premier phasage des parois. Dès cette période, les problèmes de conservation et les dégradations subies par ces œuvres suite à l'ouverture du porche seront constatés (Cartailhac et Breuil, 1905).

À la mort de Émile Cartailhac, la grotte devient la propriété de l'université de Toulouse. La mise en place d'une convention franco-américaine ouvre une nouvelle campagne de fouilles. Elle est organisée par le Comte Henri Bégouën, il est

accompagné de James Townsend Russell qui mène les missions. Ces fouilles se concentrent sur l'entrée de la grotte. Cette opération vise à mieux comprendre la stratigraphie et à restituer la morphologie préhistorique du porche (Russell, 1932 ; Bégouën, 1933 ; Bégouën et Russell, 1933b). Ils font état de la découverte de niveaux d'argile à ours, d'un coquillage et quelques silex carénés qui sont alors rattachés à une occupation aurignacienne. Peu de matériel est trouvé durant cette opération, mais la fouille a permis de montrer l'existence d'une avancée rocheuse formant un auvent à l'entrée de la grotte (Bégouën et Russell, 1933b). D'un point de vue conservatoire, ces années sont dramatiques pour la grotte. Un communiqué de 1931 atteste des conditions alarmantes de sa préservation (Vaudrey, 1931).

Dans une publication de synthèse en 1948, Louis Méroc, publie les relevés réalisés par Lucien Michaut et Marcelle Ollé, sur une partie du mobilier mis au jour par Cau-Durban. Cette publication présente l'historique des opérations effectuées et offre un premier inventaire des dessins. Louis Méroc mentionne que les fouilles s'étendent sur 25 m et que certaines des couches archéologiques n'ont pas été atteintes (Méroc et *al.*, 1948). Des reprises des opérations ponctuelles sont effectuées par Lasselin qui atteint la base d'un niveau archéologie et extrait des sagaies. En 1965, André Leroi-Gourhan intègre Marsoulas à son corpus de grottes afin de valider sa théorie de l'organisation spatiale (Leroi-Gouhran, 1965).

En 1967, l'étude de la grotte de Marsoulas est confiée à Aleth Plénier, par Louis-René Nougier dans le cadre d'une thèse de doctorat. Cette dernière entreprend des travaux de relevés et descriptifs importants pour la période compte tenu de la complexité de l'ensemble. L'inventaire des figures s'enrichit (Plénier, 1971 ; 1980 ; 1984). Son étude stylistique lui permet également de soulever certaines spécificités de la grotte comme la question de l'esthétisme, l'intégration des figures à la paroi et la présence des figures anthropomorphes. Elle mène aussi des comparaisons entre art mobilier et art pariétal. Les travaux d'Aleth Plénier font alors émerger des spécificités de l'art de Marsoulas et permettent d'en apprécier la richesse.

Dans sa thèse sur les grottes ariégeoises, Denis Vialou consacre une partie de sa recherche à l'étude de la grotte de Marsoulas. Ces travaux ouvrent de nombreux questionnements sur la place des thématiques, sur les relations entre les figures et surtout sur les questions de répartition spatiale (Vialou, 1986). C'est par le relevé et la forme de la grotte qu'il parvient ainsi à mettre en évidence l'organisation importante des figures sur la paroi malgré la forme simple de la grotte. Selon Denis Vialou, la quantité et la complexité des figurations sont dues à son accessibilité qui a permis d'intensifier sa fréquentation. En effet, la grotte ne présente aucune difficulté d'accès à l'extérieur comme à l'intérieur. Mais cette facilité d'accès a nui à la grotte, car depuis les années 1970, elle a connu de nombreux épisodes de

vandalisme : des tracés noirs au charbon ont recouvert certaines gravures majeures. Ce sont aussi le sol et les parois qui gardent en mémoire le passage répété des visiteurs - les frottements contre la paroi, le dégagement des blocs ou le tassement du sol sont bien visibles.

En 1991, Pascal Foucher réalise un travail expérimental, en confrontant son analyse à celles d'Aleth Plénier et de Denis Vialou. Ce travail montre les dichotomies et la difficulté d'appréhender le dispositif pariétal sans avoir connaissance de l'ensemble des gravures présentes dans la grotte. Ainsi les constats de Pascal Foucher se rattacheront aux observations de Denis Vialou. Il parlera, dans sa publication sur Marsoulas, d'une grotte structurée et identifiera différents niveaux de registres (Foucher, 1991).

En 1998, l'étude complète (études des parois et du mobilier archéologique) de la cavité est reprise par Carole Fritz et Gilles Tosello. Au fil du temps, la découverte de plusieurs centaines de dessins supplémentaires a permis de réévaluer le potentiel archéologique de la grotte (Fritz et Tosello, 1999 ; 2004 ; 2005 ; 2007). Toutefois les conditions d'études restent difficiles, car les parois ont subi d'importantes dégradations contemporaines (graffitis, érosion). Ce contexte impulsera l'utilisation de technologies numériques adaptées (3D, photogrammétrie) (Fritz et Tosello, 2010a ; 2010b ; 2016). Ainsi Marsoulas devient un véritable laboratoire expérimental pour l'étude et le relevé des parois (Fritz et Tosello, 2007 ; 2016).

Les collections archéologiques et l'occupation sont entièrement revues et étudiées avec une équipe pluridisciplinaire. La grotte est aujourd'hui en cours d'étude et la monographie en cours de rédaction. L'investigation globale permet de reconsidérer complètement l'espace et de préciser les périodes d'occupation. Le travail le plus important sur les relevés de paroi a livré une information jusqu'ici inconnue en termes thématique et stylistique. Si les études précédentes se sont fréquemment concentrées sur l'art pariétal ou sur le mobilier, l'étude complète de la grotte s'ouvre sur la connaissance des populations du Magdalénien dans leur contexte pyrénéen.

La grotte de Marsoulas connaît plus d'un siècle de recherche, avec nombreuses opérations de fouilles menées depuis sa découverte, mais peu de publications décrivent et témoignent de ces actions réalisées au début du siècle. Marsoulas reste une grotte difficile à étudier d'un point de vue technique, de plus, sa dégradation, peu après sa découverte, a complexifié son étude. Les grattages épisodiques, les pillages ainsi que les nombreuses visites ont profondément marqué sa configuration actuelle.

3.2.3. - Évolutions de l'attribution culturelle

L'un des principaux objectifs, d'une reprise d'étude sur la grotte de Marsoulas, consiste à replacer la grotte dans son contexte chrono culturel et à rattacher les peintures aux/à l'horizon chronologique. La question de l'attribution culturelle repose sur plus d'un siècle d'opérations archéologiques où plusieurs chercheurs se sont succédés, avec des modifications d'objectifs selon les périodes et selon les objets d'étude. La mise en perspective et le rassemblement des informations sont un préalable à l'étude.

Depuis la découverte de la grotte, malgré les multiples opérations de fouilles, la question de l'attribution culturelle reste un sujet de controverse. La connaissance de la stratigraphie repose pour l'essentiel sur les fouilles de Cau-Durban. En effet ce dernier a identifié 3 niveaux archéologiques (le Périgourdin, le Magdalénien III et le Magdalénien IV). Ces attributions chronologiques, effectuées sur la stratigraphie et le mobilier, seront peu remises en question dans un premier temps.

L'une des premières interrogations pour la grotte est l'existence d'une couche aurignacienne uniquement décrite par quelques silex. Les fouilles Henri Bégoüen et James Russell mettent à jour des grattoirs carénés qu'ils rattachent à l'Aurignacien. Toutefois, les couches 5 et 7 fouillées par David Cau-Durban sont reprises dans les années 1930 par Lasselín. Il découvre un niveau à sagaie qu'il n'identifie pas directement. En 1995, cette couche est également retrouvée suite à un sondage effectué par Sébastien Lacombe qui montre également que le premier niveau ne serait pas aurignacien, mais plutôt magdalénien. Aujourd'hui, les datations C14 menées suite à la reprise de l'étude de la grotte ferment ce débat (Fritz et Tosello, 2005 ; 2017). Deux datations C14 ont été réalisées, la première sur un radius d'ours qui fournit un *terminus ante-quem* de la première couche stratigraphique de la grotte et la deuxième sur un charbon provenant d'un sondage au fond de la grotte. Ces deux dates se retrouvent entre 18 375-17 766 cal BP (charbon GifA 17257) et 17 972-17 570 cal BP (Os Lyon 43054). Elles mettent clairement en évidence un horizon archéologique compris entre 17 000 et 18 000 cal BP (Fritz et *al.*, 2016b ; 2017 ; 2021). Après des années de débats, la principale période d'occupation peut être attribuée au début du Magdalénien moyen ancien Pré-pyrénéen (Fritz et Tosello, 2005 ; 2017) (Annexe 5).

Le second enjeu de l'étude de la grotte est de pouvoir dater les peintures. L'attribution culturelle des panneaux ornés est censée garantir une bonne compréhension stratigraphique - ce qui ne semble pas avoir été réalisé avant les années 1980 (Plénier, 1984). La grotte de Marsoulas présente une très grande accumulation de dessins en paroi et ces palimpsestes graphiques stimulent la

recherche qui doit innover pour trouver des solutions méthodologiques à son étude. (Fritz et Tosello, 2007 ; Fritz et *al.*, 2016b).

Si les premiers auteurs avaient uniquement repéré les peintures, ce sont les études et relevés de Henri Breuil et Émile Cartailhac, au début des années 1900, qui ont permis de mettre en évidence toute la diversité des formes graphiques présentes sur la paroi (Tableau 4 et Annexe 6).

| Chronologie de H.Breuil d'après L.Méroc (1948) | |
|--|---|
| Gravures : | |
| - | Magdalénien III : Sur la paroi gauche, en entrant, un assez grand nombre de gravures d'équidés d'un très bon style, remplies de hachures parallèles. |
| - | Magdalénien IV : Sur la paroi du fond, à droite, des bisons de tracés légers, enfouis autrefois sous du loess soufflé. |
| - | Magdalénien IV : Les autres gravures, presque sculptures, de divers autres points de la grotte doivent se répartir en divers moments, surtout, mais il est difficile de préciser. |
| - | Magdalénien VI : Gravures fines associées aux polychromes, mais qui leur sont postérieures ; de belles techniques avec menus détails. |
| Peintures : | |
| - | Magdaléniens III et IV : Tracés linéaires noirs, très simples, d'animaux |
| - | Magdalénien V : Tracés noirs, assez rudes, à trait parfois épais, souvent en partie remplis de couleur noire, modelés comme à l'estompe. |
| - | Magdalénien VI : Figures en partie modelées, en partie à remplissage pointillé rouge ou noir |
| - | Magdalénien VI : Figures polychromes, parfaitement cernées (voir no magdalénien VI) : Signes rouges, plus foncés que les suivants, recoupés par des gravures animales de grande taille et superposés aux polychromes ; barres à bout ponctuation, tectiformes. |
| - | Azilien ou extrême fin du Magdalénien VI : Signes rouges : longues barres barbelées, |

Tableau 4 – Horizon chronologique identifié par Henri Breuil à partir de l'étude des entités graphiques.

Après les études d'Henri Breuil, les chercheurs ne parviennent pas à s'accorder sur l'âge des figurations malgré l'existence de la stratigraphie au sol. Louis Méroc et Aleth Plénier rejoindront les propositions chronologiques d'Henri Breuil. Aleth Plénier rattache l'ensemble des graphismes à un Magdalénien final. Par la suite, dans la notice de l'Atlas des grottes ornées, elle reviendra sur la question de l'attribution culturelle. Elle insistera sur la présence de signes typiques du Magdalénien ancien et du Magdalénien moyen. Cette dernière évoque ainsi les limites qu'elle rencontre avec l'établissement d'une chronologie à Marsoulas : « *Pendant plusieurs années, l'étrange association que constituent à Marsoulas des bisons de style IV Ancien avec des signes de style III m'a fait reprendre inlassablement les arguments chronologiques. J'avoue préférer ne pas donner de solution plutôt que d'imaginer de subtils chevauchements* » (Plénier, 1984, p.301). Denis Vialou et Pascal Foucher se rattacheront à cet horizon chronologique du « *Magdalénien III* » et « *Magdalénien moyen ancien* ».

Malgré l'expertise et le passage de nombreux préhistoriens, sans possibilité de datation directe, la question de l'attribution culturelle ne semble pas entièrement

résolue en 1998. Comme le précisait déjà à l'époque Henri Breuil, Denis Vialou, et Pascal Foucher, seuls l'étude et le relevé systématique complets permettent d'avancer sur l'attribution culturelle. Aujourd'hui le travail mené par Carole Fritz et Gilles Tosello s'oriente dans cette direction et apporte de nombreuses réponses qui paraîtront dans une publication monographique (Fritz et Tosello, 1999 ; 2005 ; 2007 ; 2016). Le travail d'étude sur les manifestations graphiques a, par ailleurs, soulevé de nouvelles questions comme les liens graphiques existants avec d'autres régions (Fritz et Tosello, 2005). Même si l'unité du dispositif est manifeste et semble correspondre à un vaste horizon Magdalénien moyen, les investigations sont encore en cours pour démontrer l'appartenance culturelle des panneaux et éventuellement différencier des phases ornementales au sein de cette période. L'inconvénient reste la difficulté à trouver des ruptures graphiques et formelles dans des réalisations ayant des grandes variabilités de traitements et de rendus (Fritz et Tosello, 1999).

3.2.4. - Enjeux d'une approche spatiale pour la recherche à Marsoulas

La grotte de Marsoulas a participé à la construction de l'archéologie pariétale, car ce sont plusieurs chercheurs reconnus, dans le domaine de l'archéologie, qui sont venus étudier cet ensemble. Grâce à leurs interventions et à leurs expertises averties, les méthodes de fouilles ont obéi, dans chaque cas, à un degré d'exigence et de rigueur. Cette succession de chercheurs, à différentes périodes, avec de nouvelles problématiques, a permis une avancée et une connaissance des groupes culturels du Paléolithique supérieur. Ainsi l'étude de cette grotte est un cas d'école pour les sites ornés préhistoriques. Cette recherche a traversé le siècle, mais cette longue histoire concourt également aux difficultés auxquelles les archéologues actuels doivent se confronter. La reprise d'un site implique la recherche des sources disponibles afin de comprendre le passé de la grotte et son contexte de découverte. Souvent ces sources sont éparées et multiples, abondent en informations, mais sont une base de réflexion sur lesquelles s'appuient les archéologues¹². La quantité et la pluralité des données sont capitales pour appréhender les contextes stratigraphiques fouillés afin de les mobiliser dans de nouvelles études.

¹² Au la fin du XIXe et début du XXe siècle, les fouilles archéologiques ne sont pas soumises à des méthodes rigoureuses. Les études archéologiques s'apparentent à la quête du bel objet en ignorant très fréquemment le contexte archéologique et ignorant la stratigraphie en place. L'ensemble des fouilles du début du XXe sont alors un exercice de reprise particulier pour les archéologues aujourd'hui qui doivent ainsi identifier les couches des éléments remaniés par le passé. C'est dans les années 1960 que la documentation des fouilles devient rigoureuse et systématique.

Les auteurs, au cours des siècles, ont reconnu la complexité de l'étude des parois de cette grotte « *Mais, il faut bien l'avouer, la première visite que l'on fait à Marsoulas est décourageante. La lecture des gravures y est difficile, les traits parasites sont innombrables, beaucoup d'animaux sont inachevés ou incomplets et les signes de nos contemporains ne manquent pas. Quant aux peintures du grand panneau, elles semblent se dégrader peu à peu* » (Plénier, 1971, p.9). La grotte est un ensemble archéologique complexe : d'une part, ce sont des centaines de gravures fines qui se recoupent les unes aux autres, mais ce sont aussi des problèmes de conservation qui ont altéré les peintures. La modification et la dégradation des peintures avaient alarmé les préhistoriens dès 1930, cet état s'est amplifié et aujourd'hui la lisibilité des figures en paroi reste difficile.

Cet état des connaissances historiques et archéologiques ouvre de nombreuses perspectives d'application des SIG. Comme un challenge technique, adapté à la singularité de la grotte, cet outil est envisagé pour rapatrier toute la documentation, ancienne, nouvelle ; pour croiser l'ensemble de ces données ; pour reconstruire cet espace particulier et fournir un espace de travail pour mieux décrire la fréquentation de la grotte.

Toutefois de nombreuses difficultés sont à prendre en compte « *L'abondance des œuvres, de l'entrée jusqu'au fond ainsi que la superposition dense des figures suggèrent une mise en place du dispositif pariétal étalé dans le temps, sans qu'il soit possible de percevoir une rupture stylistique. Il semble que le décor ait été élaboré en plusieurs étapes, participant à une même unité culturelle. Entre-temps, le remplissage de la grotte subissait des événements marquants (chutes de plaquettes, effondrements de blocs de la voûte, apports sédimentaires...).* Rétablir la chronologie relative de ces différentes phases paraît un objet bien difficile à atteindre, voire impossible, en raison des destructions subies par les parois et le gisement. Aujourd'hui, les peintures et les gravures sont pratiquement privées de leur contexte archéologique initial donc d'une source de datation potentielle » (Fritz et Tosello, 2004, p.56). Ces informations, extraites d'un article de 2004, résument les problèmes auxquels nous sommes confrontés. L'enjeu est d'adapter l'outil à ces contraintes et d'opérer des choix méthodologiques pour résoudre ces complications. Dans un premier temps, c'est la question de la mise en place du dispositif qui doit être traitée. Il est nécessaire de retranscrire le processus d'arrivée des figures sur la paroi afin de comprendre la durée et le mode de fréquentation de la cavité. Ensuite nous devons retranscrire la chronologie relative de la paroi – en restituant la stratigraphie des entités graphiques afin de pouvoir mieux comprendre l'attribution culturelle et de dégager la présence éventuelle de sous-ensembles graphiques. Enfin, pour discuter du contexte archéologique initial, nous devons nous appuyer sur la documentation

passée. Remobiliser cette documentation reste une opération complexe à effectuer, les SIG peuvent nous accompagner dans cette opération.

Le questionnement suit un processus dont trois étapes sont envisagées. La première étape consiste à trouver des moyens pour décrire et caractériser l'organisation interne de la grotte. La visualisation du contexte pariétal et l'exploration de ces relations doivent faire l'objet de nouveaux travaux pour aider les archéologues à mieux comprendre la structure spatiale du dispositif pariétal. Cette restitution doit se faire à la fois d'un point de vue chronologique, spatial et formel. Il faut offrir des moyens techniques et exploratoires pour décrire et visualiser ces phénomènes. Le SIG est un moyen pour interroger cette base de données graphiques et l'ensemble de la connaissance acquise par les préhistoriens. La cartographie et les analyses spatiales offrent des possibilités pour restituer le processus d'arrivée et d'organisation des figures.

La seconde étape concerne l'étude de la chronologie relative de la paroi. Henri Breuil avait utilisé sa méthodologie de superposition stratigraphique sur quelques figures, aujourd'hui la découverte des entités peut être multipliée par 3. Les avancées ont donc considérablement augmenté la quantité d'informations, elles complexifient cette stratigraphie pariétale et redessinent considérablement le panorama connu de la grotte. Ce sont, par ailleurs, les analyses physico-chimiques qui apportent également de nouveaux éléments.

La dernière étape s'applique aux moyens de la remobilisation des données des opérations, à la capacité de reconstituer un corpus documentaire visuel des opérations archéologiques. L'enjeu est d'établir un dialogue entre les niveaux de sols théoriques et la position spatiale des entités. Pour cela, les pistes sont plurielles.

À ces questionnements, s'ajoute la nécessité de créer un corpus documentaire opérationnel pour la recherche en cours et pour les générations futures.

3.3. - Construire l'information spatiale : les sources disponibles

L'élaboration d'une analyse de l'espace repose essentiellement sur les données recueillies. Dans le cadre de sa mise en œuvre, l'ensemble des données disponibles doit être identifié pour être intégré. Ce premier travail de collecte est nécessaire pour identifier les différentes sources susceptibles d'être spatialement modélisées. Ces sources, qui se présentent sous une diversité de forme et pourront être utilisées dans un second temps pour l'étude.

3.3.1. - Les sources historiques

Dans cette classification, nous retrouvons plusieurs types de sources. Ce sont tout d'abord les sources textuelles issues des rapports d'activité ou de publication. Ces informations fournissent de nombreuses descriptions concernant des configurations passées. Elles peuvent évoquer l'état de la grotte et les peintures visibles au moment de la découverte ou encore la profondeur des opérations archéologiques réalisées. Le rassemblement, l'analyse et le recoupement de ces archives s'apparentent à un travail d'historien. L'objectif de ces étapes est de les étudier de manière détaillée afin d'extraire le maximum de contenu.

Dans le cas de Marsoulas, ce sont généralement de courtes mentions rarement accompagnées de photos et de plans. Plusieurs auteurs font état du commencement de leur fouille : « À 17 mètres environ de l'entrée, la paroi de gauche forme une sorte d'éperon qui ménage une anse assez profonde et très propice à l'assise d'un foyer » (Cau-Durban, 1885, p. 341). Selon les fouilles, les localisations sont plus ou moins précises, elles font état de l'emplacement de l'opération, de la stratigraphie ou du niveau de profondeur atteint : « Un sondage (dont l'emplacement est marqué par un creux dans le sol sur le plan de Michaut), à trois mètres de la clôture actuelle, et dans la partie gauche déjà fouillée par Cau-Durban, nous révéla l'existence, à 1 m 60 de profondeur, d'une couche archéologique extrêmement humide renfermant de nombreuses sagaies en bois de renne, très difficiles à extraire, car réduites à l'état pâteux » (Méroc, 1948, p.295). Ces mentions serviront, par la suite, de points de repères pour la modélisation stratigraphique. Il existe donc les sources initiales décrites par les auteurs, mais également tous les éléments mentionnés indirectement au sujet des opérations passées. Quand cela est le cas, on constate que la fiabilité de l'information tend à être moins précise. La synthèse de ces mentions pourra être confrontée avec la configuration actuelle de la grotte.

Dans ces sources historiques, quelques photos sont aussi disponibles. L'héritage photographique est important, car il montre la morphologie passée de la grotte. Et, décrypter cette iconographie, c'est aussi recontextualiser certaines informations pour comprendre l'évolution de la grotte. Ce ne sont pas des sources écrites, mais elles offrent un regard sur les opérations passées et peuvent être confrontées aux textes et apporter d'autres informations.

Les données topographiques sont aussi des sources essentielles pour comprendre l'évolution des opérations passées. Elles fournissent des éléments sur les changements topographiques et les opérations précédemment effectuées. Ces données se présentent sous forme de plans autrefois réalisés à la main. Ce sont des informations qu'il est possible de géoréférencer. La configuration de la grotte fait

qu'en s'éloignant de l'entrée, le risque d'erreur augmente. Dans la seconde partie, le pendage est important et complique la prise de mesure au sol.

Lors de la réalisation des opérations (sondages, fouilles, études des parois), différents relevés topographiques ont été produits par plusieurs auteurs. C'est le cas du premier plan du porche réalisé par James Russell et Henri Bégouën dans les années 1930. Il s'agit d'une coupe de la fouille du porche (Figure 26). Il mentionne également la découverte du *Triton nodiferum*¹³. Ce plan se limite à la partie, aujourd'hui extérieure, de la grotte dont l'occupation devait s'étendre, il mentionne néanmoins le haut de la grotte, ce qui permet d'avoir des repères visuels.

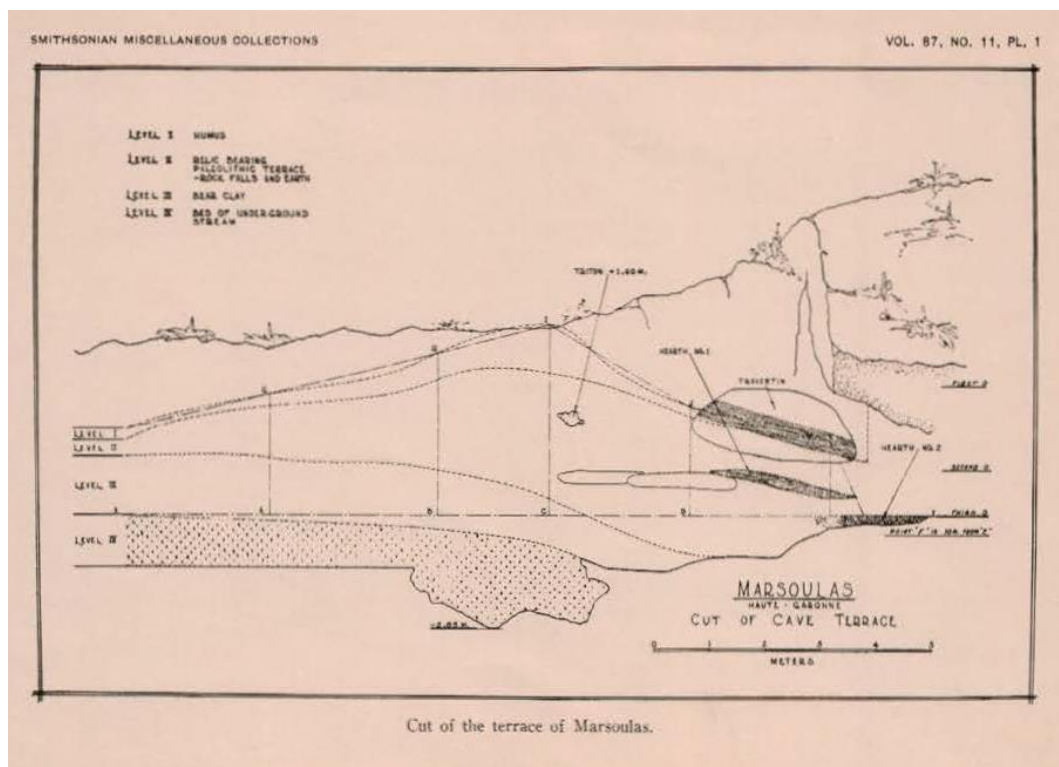


Figure 26 – Coupe de la fouille du porche par J.Russell et H.Bégouën (Russell, 1930).

Il faut attendre 1940 pour voir apparaître la première topographie de la grotte. Ce plan est réalisé par Lucien Michaut et Marcelle Ollé (Figure 27). Ce plan topographique est important, car c'est la première confirmation de la localisation des opérations qui restitue l'emplacement des sondages et les fouilles effectuées. Louis Méroc mentionnait déjà l'utilité de ce plan pour les générations futures. Cependant il est difficile d'observer si ces opérations sont établies sur une estimation ou sur des relevés encore visibles dans la grotte. Néanmoins, les 4 opérations sont bien visibles (A ; B ; C ; D) qui correspondent aux fouilles de 1880 à 1933. À partir des années 1970, de nombreuses levées topographiques sont systématiquement opérées, et ce dès la

¹³ Il s'agit d'un coquillage utilisé comme instrument (Fritz et al., 2021).

reprise de l'étude. Aleth Plénier et Denis Vialou réaliseront respectivement leur propre topographie pour leurs études pariétales. Enfin, la dernière topographie réalisée avant le scan 3D, a été faite dans les années 1998/2000 lors de la reprise de la grotte par Carole Fritz. La reprise de la grotte et le scan 3D permettent aujourd'hui d'avoir un historique de son évolution et des modifications éventuelles des opérations archéologiques. Cet historique permet de comparer les tracés au sol.

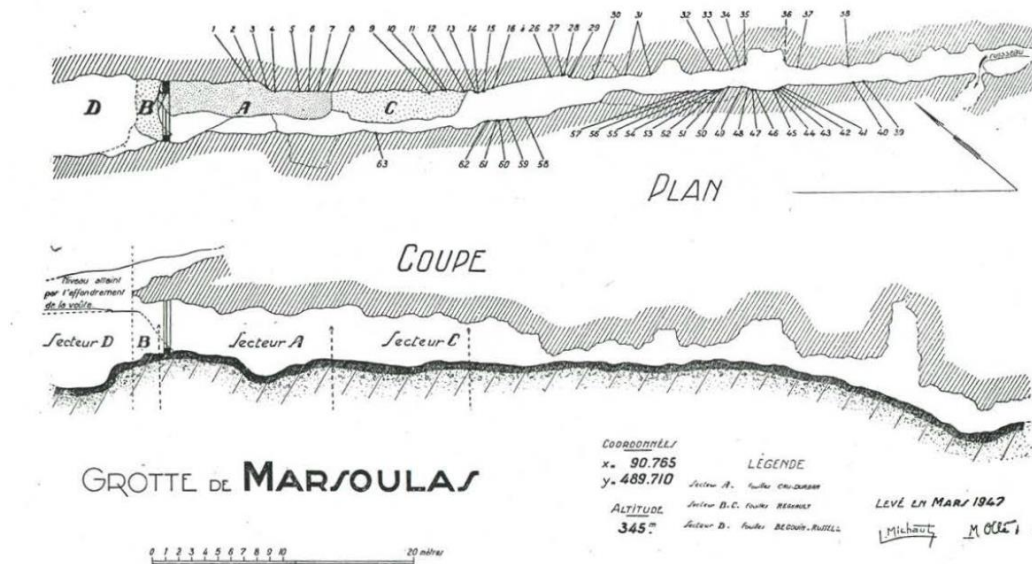


Figure 27 – Plan d'Ollé et Michaut (Méroc et al., 1948).

Recenser l'ensemble de cette documentation va être utile pour la suite des opérations. Elle va permettre de replacer les évènements en stratigraphie, la mention de la découverte des objets ainsi que les couches stratigraphiques. Scénariser ces éléments ouvre de nouvelles perspectives de contextualisation. Malheureusement, ces plans ne mentionnent pas tous les niveaux et variations du sol. Certains éléments restent méconnus ou mal décrits, notamment en ce qui concerne les phases de grattage du début du siècle, ou bien les nombreuses visites qui ont participé aux remaniements de l'espace. Et généralement, plus les fouilles et sondages sont anciens, moins les descriptions sont étayées. L'historique de ces plans topographiques montre, par ailleurs, le passage à des méthodes de terrain plus précises avec des plans aux mesures plus exactes. Cette rigueur méthodologique s'intensifie aujourd'hui afin de livrer une documentation fiable.

3.3.2. - Les sources numériques

La grotte de Marsoulas a bénéficié relativement tôt d'une opération de scan. Le scan a été réalisé par le cabinet Pérazio dans les années 2000, il a nécessité une dizaine d'heures de travail. Environ 1 538 081 points ont été collectés avec un

recalage moyen de 1,5 mm (Fritz et Tosello, 2008). Trois missions de terrain ont couvert la quasi-totalité de la grotte avec une précision comprise entre « 1 cm pour les zones non ornées et 3 mm pour les autres » (Fritz et al., 2010a ; 2010b). Cette opération visait trois objectifs : permettre d'archiver les parois ; tester l'intérêt du 3D pour le relevé graphique et visualiser la galerie hors de la grotte pour suivre le processus d'avancement de la documentation (Figure 28).

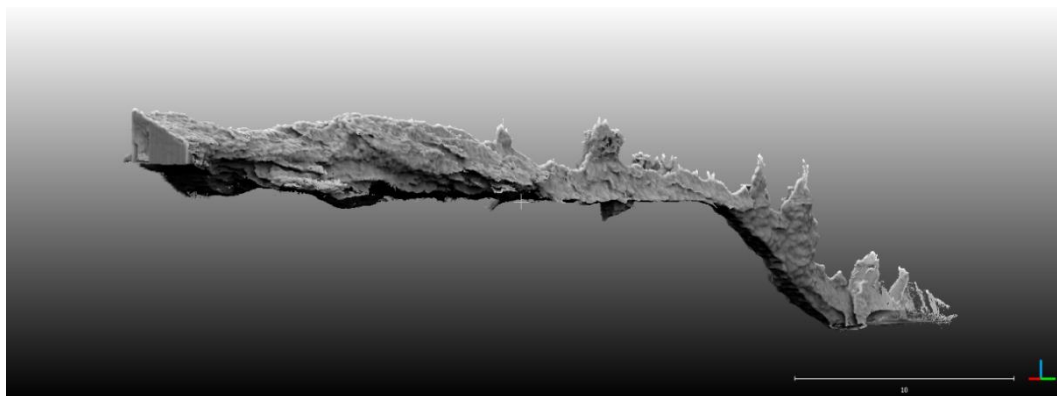


Figure 28 – Scan brut de la grotte de Marsoulas, réalisé en 2008 par le Cabinet Perazio, L.Louman.

La création d'un SIG en grotte repose entièrement sur l'existence de documents topographique, lasergrammétrique ou photogrammétrique. Il est le point d'appui pour l'acquisition des coordonnées et de la modélisation de l'espace intérieur. Il permet de localiser des objets dans l'espace, de réaliser des Mesh et surtout des modèles numériques de terrain qui sont des prérequis à l'analyse spatiale.

Une couverture photogrammétrique a été réalisée pour l'ensemble de la grotte. Les données sont aujourd'hui en cours de traitement et nous n'avons pas bénéficié du modèle de la grotte durant ce travail. Le temps d'accès limité au terrain ne nous a pas permis d'obtenir un modèle pour la première partie de la cavité. Nous avons néanmoins pu réaliser un modèle 3D sur un jeu de photos prises, en 2010, pour l'un des panneaux centraux (Le Grand Panneau peint) de la grotte. Il a été effectué sous Photoscan et a été recalé grâce aux coordonnées du scan 3D -pour des questions de mémoire liées à l'ordinateur, la qualité du modèle a été générée qu'en moyenne qualité. Il constitue, néanmoins, une base de travail plus précise que le nuage de points 3D. Il apporte, par ailleurs, les couleurs des parois- grâce à l'albédo - ce que le scan ne permet que ponctuellement (Figure 29).

La couverture photogrammétrique en cours a cependant permis de générer des orthophotos dans certaines zones de la cavité. Les orthophotos ont servi de base aux relevés graphiques. Cette nouvelle couche de relevés a ainsi pu être intégrée comme une nouvelle texture à la place des photos initiales. Cela permet d'obtenir un modèle 3D géoréférencé texturé avec les relevés (Fritz et al., 2016a). Les relevés dans leur

position réelle rendent compte plus facilement de l'utilisation des volumes. Nous avons donc pu bénéficier de ce modèle 3D texturé généré grâce aux acquisitions photogrammétriques. Ce modèle a été également calé grâce au scan 3D.



Figure 29 – Modèle 3D géoréférencé du « Grand Panneau peint ». L. Louman à partir des clichés de M. Willis, (2009).

3.3.3. - Les sources actuelles

À Marsoulas, les relevés graphiques sont une source documentaire importante. Ces documents graphiques mettent véritablement au jour les entités graphiques sur la paroi. Ils sont aujourd'hui réalisés sur des orthophotos et sont disponibles au format .pdf dans les rapports d'activités. Ils permettent de localiser et de relever l'emplacement et la forme des figures (Figure 30). Dans chaque rapport, une description est associée et à la reproduction de chaque figure. Chaque figure comporte : un numéro d'identification en référence à la paroi de droite ou de gauche ; un numéro du mètre auquel elle a été découverte (le point 0 étant positionné à l'entrée) et un numéro individuel (exemple : G16.05). Elle vient apporter des éléments complémentaires et des précisions à la reproduction de la figure ; ce sont des remarques, des constats stylistiques, des ressemblances avec d'autres figures. Le travail du relevé est un enjeu méthodologique à cause de la quantité de figures et des problèmes majeurs de conservation -les gravures sont aujourd'hui quasi-invisibles pour un non spécialiste (Figure 30).

Afin de connecter et répertorier l'information tirée des relevés, une base de données a été mise en place en 2010. Elle reprend les principales caractéristiques des figures afin de les référencer et de les comptabiliser. En 2016, elle a été reprise et consolidée durant un stage de master (Louman, 2016) et un modèle relationnel a pu être proposé pour la saisie et les requêtes. Cette base réalisée initialement sous Filemaker, a été modifiée et réalimentée. Certains champs ont également pu être modifiés. Des photos, des relevés ainsi que les principales caractéristiques des

entités y sont contenus. C'est un socle de documentation général qui sert de base pour la connexion au SIG. Elle comprend alors tous les éléments descriptifs des entités graphiques.

Réalisée sur Filemaker, elle peut être aisément remobilisée pour le SIG. Les critères sélectionnés ont été précisés notamment ceux relatifs au style et au traitement formel. Ils permettent de décrire au mieux les entités graphiques, selon plusieurs aspects. Différents paramètres sont retenus : des identifiants généraux de l'entité -le code, les panneaux, le registre, le secteur de découverte et la description générale- ; les informations techniques et situationnelles - techniques utilisées, la coloration, l'orientation, l'état de conservation, l'analyse de pigments, l'utilisation du relief ; les informations stylistiques et formelles- espèce, sexe, état figuratif, traitement des parties du corps, détails anatomiques. Enfin, les dernières parties sont les archives et métadonnées : photos, années de relevé, dessinateurs. L'essentiel des critères se retrouve dans la base (Annexe 7). L'essentiel de cette base a été récupéré et complété grâce aux rapports d'activité. Cela a été fait pour 70% de la grotte.

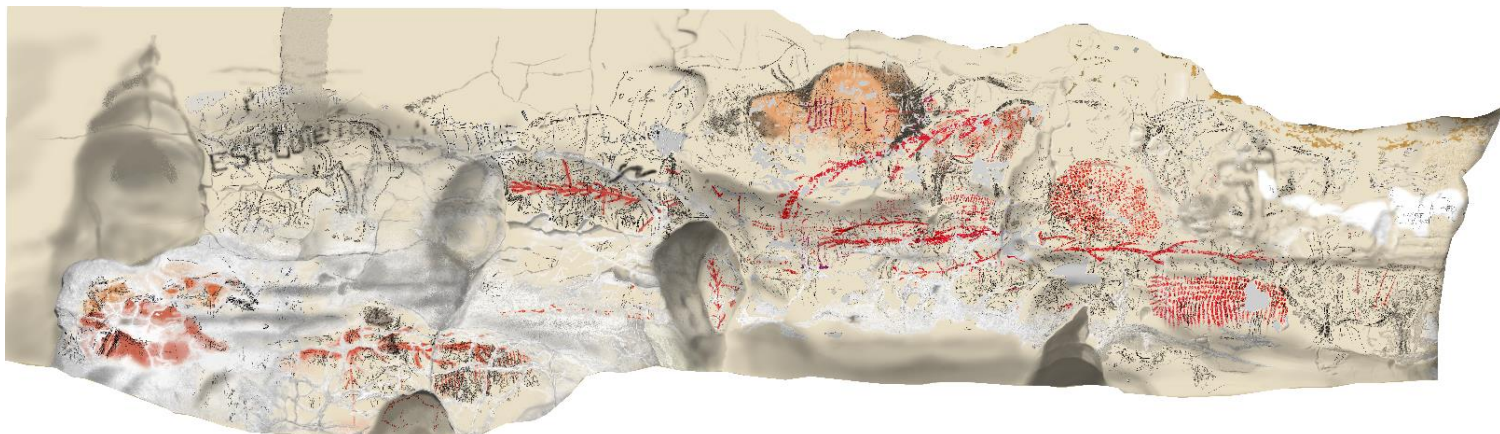


Figure 30 – Relevé du Grand panneau peint, G.Tosello et C.Fritz.

3.4. - Cadre méthodologique de l'élaboration d'un SIG au passage d'un SIG 3D

3.4.1. - Le SIG « classique » : un socle de connaissance de base

Le travail préparatoire de l'étude de la grotte consiste à rassembler l'information disponible. Avant même d'entreprendre l'analyse, le premier enjeu a été de centraliser les sources afin de créer les données spatiales. Ce travail préparatoire repose sur la création d'un socle de référence. Il est indispensable pour accéder à l'information, mais également pour évaluer l'intégrité et la fiabilité des données. A

ce premier stade d'acquisition, il est alors possible d'estimer l'information exploitable et pertinente.

La création de cette base de données spatialisées est réalisée sous ArcGIS avec une géodatabase. Nous avons choisi ce format pour sa simplicité, vu le peu de données, et parce que nous sommes les uniques utilisateurs - nous n'avons pas la nécessité de déployer un SGBD relationnel. Cette base repose sur la création d'un modèle numérique de terrain de la grotte que nous avons réalisé à partir du nuage de points 3D. Ce MNT a servi de base pour l'intégration des anciens relevés topographiques et a permis la création de nouvelles couches géographiques à partir des données retrouvées.

| Thématique | Nature de la donnée | Format | Source |
|-------------------------|--|--------|---|
| Topographie | MNT du sol, (Modèle 3D) | .shp | Scan 3D |
| | MNT du plafond (Modèle 3D) | .shp | Scan 3D |
| | Contours maximaux, (Modèle 3D) | .tiff | Scan 3D |
| | Topographie Fritz et Rouzard (1998) | .tiff | Vectorisé (Rapport 1998) |
| | Topographie Plénier (1971) | .tiff | Vectorisé (Travail niversiataire, 1971) |
| | Topographie Ollé et Michaut (1947) | .tiff | Vectorisé publication (1947) |
| | Axe central | .shp | Scan 3D |
| Opération archéologique | Sondage Fritz | .shp | Vectorisé (Rapport 1998) |
| | Sondage Lacombe | .shp | Vectorisé (Rapport 1998) |
| | Fouilles Bégoüen-Russell | .shp | Vectorisé (Publication) |
| | Fouille Régnauld | .shp | Vectorisé (Publication) |
| | Fouille Cau-Durban | .shp | Vectorisé (Publication) |
| Géomorphologie | Blocs, déplacés/en place | .shp | Vectorisé (Rapport d'activité, 2017) |
| | Cartographie de la morphologie souterraine (Protée), | .shp | Vectorisé (Rapport d'activité 2017), Carte géomorphologique |
| Hydrologie | Emplacement des sorties d'eau | .shp | MNT |
| | Cours d'eau souterrain | .shp | MNT |
| Archéologie | Entités graphiques | .shp | Scan 3D |
| | Artefacts | .shp | Scan 3D |
| | Blocs aménagée | .shp | Scan 3D |
| | Os fichés | .shp | Scan 3D |
| | Suie | .shp | Scan 3D |
| | Rubéfaction | .shp | Scan 3D |

Tableau 5 – Catalogue des données spatiales créées à partir des sources disponibles.

Pour les entités graphiques, les coordonnées géographiques ont été récupérées grâce au scan et au Mesh 3D géoréférencé. Le centre de chaque figure a été sélectionné dans chaque cas. Les coordonnées x, y, z ont été importées sous ArcGIS avec leur numéro d'entité. Une connexion ODBC a pu être effectuée avec la base de données Marsap (réalisée en 2014) joignant le contenu descriptif individualisé aux coordonnées géographiques.

Les données issues du rapport sont vectorisées, géoréférencées et alimentées. Sept thématiques sont créées centralisant l'ensemble de l'information spatiale de la cavité (Tableau 5). Au sein de ces thématiques, 18 nouvelles couches géographiques sont intégrées.

Les couches ont pu être élaborées à partir du MNT. Les coordonnées locales du scan ont été conservées, faute de repère extérieur, permettant de rétablir les coordonnées. Les premiers plans topographiques et les sources anciennes peuvent désormais être croisés avec les données récentes et confrontés à l'état actuel de la grotte (Figure 31).

Avant de pouvoir analyser la grotte, il paraît aujourd'hui évident de créer un socle de données brutes. Cette directive est aujourd'hui encouragée et impulsée par le Centre national de préhistoire. Toute grotte ayant aujourd'hui accès à des données numériques et à des compétences en géomatique devrait à terme se munir d'un SIG.

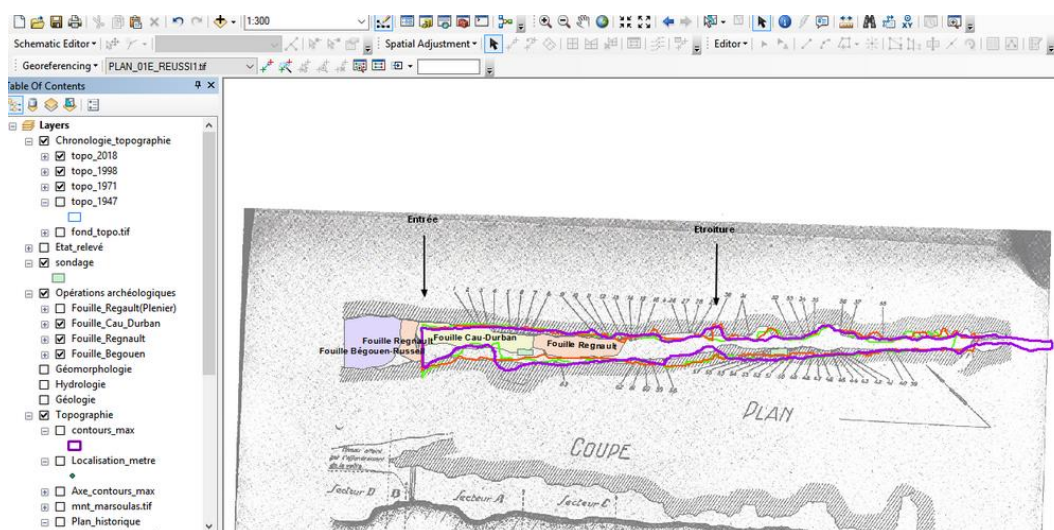


Figure 31 – Vue de la base SIG de Marsoulas avec l'ensemble des anciennes données topographiques, ArcMap.

3.4.1.1. - Un problème de représentativité

L'étude de la grotte de Marsoulas se concentre alors sur les entités graphiques, car c'est aujourd'hui la source d'information la plus fiable et la mieux documentée de la cavité. On dispose désormais de leur forme, de leur contexte topographique et de la description déjà réalisée par l'équipe. Ces dessins sont des témoins directs et

indirects pour étudier l'espace et questionner l'occupation humaine. Ils sont encore *in-situ* ce qui n'est pas le cas de l'ensemble du mobilier archéologique extrait des premières fouilles de Cau-Durban.

Cependant, en l'état, peu d'informations sont disponibles pour être interrogées, compte tenu du fait qu'elles sont coordonnées en symbole ponctué. On assiste à un problème majeur de représentativité, car leur traduction spatiale paraît peu adaptée à leur forme surfacique reposant sur la paroi.

La vision des coordonnées x, y, z des centroïdes des entités graphiques en vue aérienne ne présente que partiellement l'information (Figure 32). La traduction par un symbole ponctué est faussée, car les entités paraissent être intégrées sur le niveau du sol. La cartographie des entités située en paroi avec des données localisées au sol apparaîtra confuse. D'autant plus que la paroi n'est pas régulière et les contours topographiques sont pris au sol. Ainsi, beaucoup d'entités paraissent flottées au-delà des limites alors qu'elles sont bien positionnées en hauteur. Au-delà de cet affichage limité, les manifestations graphiques présentent de nombreuses spécificités. Elles occupent des surfaces, peuvent mesurer quelques mètres de long et se déploient verticalement et horizontalement sur la paroi. Les entités graphiques se retrouvent sur la paroi positionnée de manière verticale.

Elles sont organisées en ensemble appelé panneaux et font l'objet de composition graphique (Sauvet, 1993). Les thématiques figuratives ou non figuratives sont porteuses de signification tout comme leurs associations (Sauvet et Wlodarczyk, 1992).

Les représentations en vue aérienne se traduisent par empilement et apparaissent faussement intégrées au sol. De cette manière, la structure spatiale réelle des entités ne peut être abordée, car elle ne tient pas compte des spécificités spatiales portées par les entités graphiques. L'étude des entités en symbole ponctué ne permet pas d'étudier la véritable organisation spatiale des entités graphiques. L'intérêt du SIG est de parvenir à analyser la distribution spatiale et d'interroger les relations des manifestations graphiques à travers des requêtes spatiales et attributaires, que seule la verticalité peut pleinement traiter.

La vision 3D devient alors obligatoire pour aborder l'occupation spatiale de la paroi sans risquer de perdre de l'information. L'ensemble des méthodes SIG déployées devront alors tenir compte de ces aspects et de ces spécificités portées par les entités graphiques.

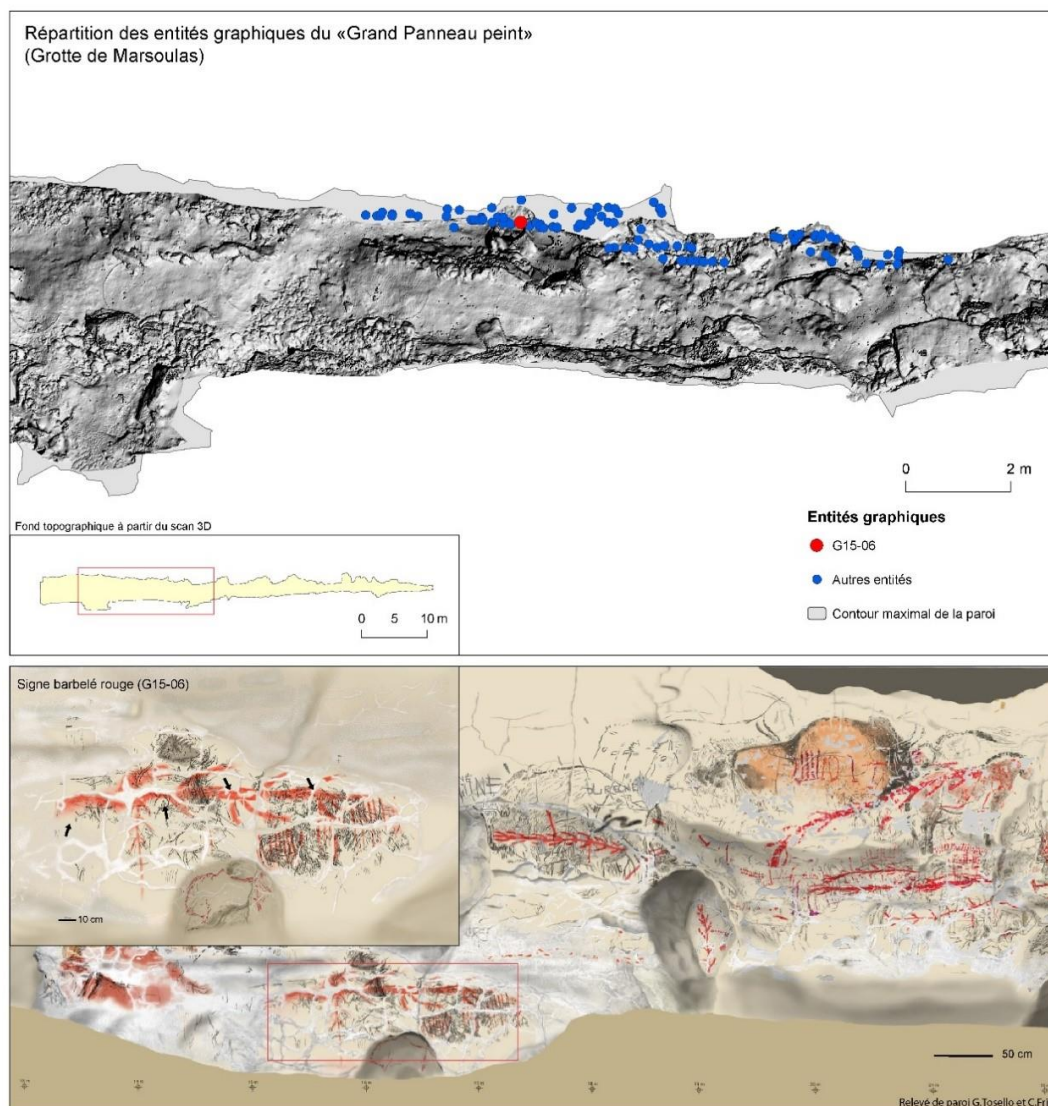


Figure 32 – Traduction en symbole ponctué d’une entité graphique réelle, L.Louman.

3.4.1.2. - Établir les spécificités des entités graphiques

Pour trouver des solutions méthodologiques adaptées à l’étude spatiale des figures, il faut premièrement définir leurs caractéristiques.

Nous avons vu dans une première partie qu’une entité graphique est une unité qui ne peut être extraite ou être dissociée de son support : la paroi. Elle n’est pas une simple production graphique, elle est également symbolique c’est pourquoi son contexte environnant doit être pris en compte.

Les gravures et peintures se matérialisent par des formes construites, elles sont définies par les tracés ou par des limites naturelles. Le choix de la topologie s’est alors orienté vers un polygone pour respecter l’aspect surfacique des entités graphiques. Par opposition au point, la surface permet de calculer l’aire, l’emprise au

sol et de réaliser un certain nombre de requêtes. Les relations spatiales entre les surfaces peuvent être questionnées en fonction de leur emplacement.

Alors que le polygone est la forme topologique la plus évidente pour représenter les entités graphiques, plusieurs options de digitalisation existent. Tout d'abord, il est possible de se limiter strictement aux tracés anthropiques, c'est-à-dire qu'en cas de gravures, seuls les tracés sont enregistrés, les zones de vide à l'intérieur de la figure ne sont pas prises en compte. Ensuite, nous pouvons utiliser les contours maximaux, en considérant que les zones de vides à l'intérieur des figures sont des parties intégrantes. Cette vectorisation traite de deux cas de figure : le premier cas vise à estimer la matière enlevée ou ajoutée et questionne plus généralement l'investissement graphique porté à la réalisation alors que le second cas interroge l'emprise occupée par les figures. Nous nous sommes appuyés sur les études de psychologie de la forme, pour choisir l'apparence de la vectorisation ; cette spécialité offre un cadre permettant de comprendre comment le cerveau lit et associe les formes. La manière dont le cerveau perçoit les formes livre des indices de digitalisations et nous permet ainsi d'enregistrer au mieux l'information. Plusieurs principes sont énoncés comme « *la loi de clôture* » qui exprime que « *le tout est différent de la somme de ses parties* » ou encore que « *lorsque des images sont imparfaites ou qu'une suite d'événements est incomplète, notre cerveau a tendance à combler les vides afin de percevoir ces informations dans leur totalité* ». Le premier principe tend à montrer que même si la forme est partielle ou incomplète, le cerveau procède à une reconstruction de la forme (Rosenthal et Visseti, 2003) (Figure 33). Le second principe démontre que la figure et le fond sont intimement liées. Dans la création d'une figure, le fond devient une partie intégrante de la figure. Le contraste visuel laissé par les zones de vides est lu dans sa globalité même si le remplissage est inexistant. Dans les deux cas, le cerveau va faire émerger des formes complètes là où elles ne sont pas. La réflexion de traitement des formes est une démarche nécessaire à la construction sémiologique de l'information afin de conserver une bonne représentation de l'espace graphique occupée par les figures.



Figure 33 – Loi de clôture / Le fond est mis en valeur par l'organisation des formes.

Les deux points illustrent le fait que même si les formes sont incomplètes, le cerveau opère une lecture uniforme. Sur ce postulat-là, la digitalisation des entités

graphiques va se faire en polygones et ce sont les contours maximaux qui vont être sélectionnés. « Le tout » sera préféré à la digitalisation individuelle des parties qui le constitue.

Au-delà de la forme majeure, les entités graphiques sont organisées et partagent un lien significatif entre elles. Leurs emplacements sont régis par des codes et sont significatifs. Elles disposent de spécificités sémiotiques qu'il est possible d'anticiper selon les périodes et les régions (Sauvet, 1993 ; 1994). Il faut alors pouvoir questionner ces relations spatiales entre les différentes entités. Pour cela tout le vocabulaire d'association spatiale peut être adaptable au vocabulaire topologique. Les règles de relations topologiques peuvent être appliquées aux entités graphiques et font écho à la règle de distribution spatiale déjà observée par les préhistoriens (isolement, superposition, juxtaposition).

Cette spécificité invite une nouvelle fois à digitaliser les entités en polygones afin de pouvoir directement quantifier et observer les liens spatiaux présents entre les figures. Dans le cas de la figure 34, la digitalisation de la figure sous-jacente va permettre de faire apparaître une requête spatiale positive, car les figures sont en contact. Au contraire, dans le deuxième cas, l'absence de contact, due à la digitalisation faite à partir des contours de la figure, ne permet pas de questionner la position de la figure située à l'intérieur. Malgré la proximité spatiale de ces deux figures, la relation n'apparaîtra pas positivement avec une requête spatiale du type « contenir » ou « est contenue dans ». Cette règle topologique propre au SIG invite une nouvelle fois à digitaliser les figures dans leur globalité et non à se limiter aux segments (Figure 34).



Figure 34 – Exemple de requête spatiale « Contain ». Dans le premier cas, l'entité est digitalisée avec ses contours maximaux. La requête ressort positivement. Le mammoth est donc bien sélectionné grâce à la requête spatiale et permet donc de comptabiliser la relation. Dans le deuxième cas, la figure est représentée uniquement par ses contours, elle apparaît donc vide à l'intérieur. La même requête « contain » apparaît alors négativement, le mammoth situé à l'intérieur n'est pas comptabilisé. Aucun lien ne peut être alors observé avec ce moyen de digitalisation malgré la relation existante entre les deux figures, L.Louman.

3.4.2. - La création d'un SIG 3D en multi-patch

Dans un article de synthèse, Michelle Wienhold dresse un état de l'art des SIG appliqués à l'art rupestre (Wienhold and Robinson, 2017). Il est intéressant

d'observer que les réflexions sur les SIG appliqués aux parois verticales sont absentes des travaux des chercheurs. Elle attribue cette absence à la complexité de traiter plusieurs plans.

« Currently, such studies are advancing techniques of visualization and simulation, but how threedimensional visualizations can be employed analytically remains underdeveloped. This is not a problem limited to rock art research, but is a wider issue with integrating multidimensional data into GIS to effectively create a three-dimensional GIS. Future research will surely move towards analytical three-dimensional GIS in which research questions will be broached. » (Wienhold and Robinson, 2017, p.20). Si leur emploi est rare dans les études des parois ornées, cela tient autant à la difficulté de traiter la verticalité que celle des reliefs. Les SIG 3D à l'heure actuelle analysent les volumes en 2,5D par extrusion, à partir du sol, ce qui limite la modélisation d'une paroi ainsi que le traitement surfacique de la verticalité (Goodchild, 2010). L'extrusion est adaptée au bâti, mais pas aux objets contenant plusieurs valeurs de hauteur sur un même axe x, y. Dans le processus d'extrusion seule, une valeur Z est retenue.

Mis à part quelques cas répertoriés, les SIG sont rarement utilisés pour cartographier verticalement les entités graphiques. Les exemples retrouvés dans la littérature portent plus sur des pétroglyphes (Lymer, 2015 ; Jaladoni et al., 2017 ; 2018 ; Niskanen, 2018). Les SIG dans ces cas précis sont utilisées pour visualiser le modèle numérique de terrain de la paroi et pour cartographier les gravures dans une fonction proche à ce que l'on connaît des relevés. Pourtant Michelle Wienhlo d'identifie l'intérêt de ces SIG pour mieux comprendre les variations topographiques et surtout pour venir appuyer les observations de données quantitatives : *« For instance, the potential of three-dimensional GIS to calculate aspects of contour, shape, and volume can be applied to the microtopography of rock surfaces to potentially provide quantitative data to complement the qualitative observations of many researchers who have observed the interplay of rock art and rock features »* (Wienhold and Robinson, 2017, p.22).

Nous partageons ces observations : réaliser un SIG à petite échelle nécessite obligatoirement de s'intéresser au 3D si l'on ne veut pas occulter une partie de l'information étudiée. Il faut ainsi trouver des méthodes pour parvenir à réaliser ce SIG, nous mobilisons des exemples issus de l'archéologie et du patrimoine.

Depuis 2008, différents types de travaux sont réalisés pour l'intégration d'éléments 3D dans un SIG. Esri a constitué un tournant en archéologie dans les moyens de visualisation. Les workflows sont alors proposés, essentiellement sous ArcScene afin d'intégrer la visualisation des volumes 3D dans l'élaboration d'un SIG (Koehl et Lott, 2008 ; Opitz et Nowlin, 2012 ; Dell'Unto et al., 2013 ; 2015). Des

exemples patrimoniaux en SIG 3D proposent des solutions méthodologiques innovantes au-delà de l'extrusion permettant d'interroger des surfaces murales (Katsianis *et al.*, 2008 ; 2017 ; 2021 ; Dell'Unto *et al.*, 2015 ; 2017 ; Landeschi *et al.*, 2016 ; 2018a ; Polig, 2017). Ces méthodes intègrent souvent plusieurs étapes et nécessitent la combinaison de multiples solutions logicielles de photogrammétrie, 3D afin de créer des objets 3D permettant d'être intégrés sous ArcScene. Ces cas d'étude ont fait office de support cependant la méthode choisie doit s'adapter aux données disponibles.

Une procédure méthodologique de réalisation d'un SIG 3D est appliquée aux données archéologiques et historiques de Marsoulas. Pour réaliser le SIG, le mesh texturé avec le relevé 3D est utilisé (Figure 35). Le SIG 3D est mis en place suite à la création d'un mesh basé sur la photogrammétrie. Ce travail a été réalisé par Mark Willis à partir des relevés graphiques de Gilles Tosello. Les relevés sont effectués sur les orthophotographies des parois, de ce fait les textures photographiques ont pu être remplacées et régénérées avec les relevés (Fritz *et al.*, 2016a). Ce modèle constitue le support de travail pour la création du SIG 3D.

Ce travail aurait bien pu être réalisé, directement sur photogrammétrie ou bien à partir du maillage du nuage de points 3D. Cependant, certaines gravures de quelques centimètres, seulement, sont quasi invisibles sur la photogrammétrie et encore moins visibles avec l'albédo du scan. Les relevés individuels de chaque figure et les aspérités de la paroi n'ont été d'une aide que trop limités pour digitaliser les entités une à une. Sans la possibilité d'avoir le relevé projeté, les gravures sont invisibles sur la paroi. La complexité graphique et le manque de lisibilité impliquent l'accompagnement du relevé graphique. C'est pourquoi l'existence de ce modèle 3D texturé est une véritable opportunité pour recréer en 3D les entités identifiées et c'est l'ensemble de l'étude archéologique de la paroi qui peut être transposé. Ce modèle a tout d'abord été réalisé pour la première partie de la grotte. Les deux parois ont été texturées, seules quelques entités ne sont pas présentes sur les relevés. La zone s'étend de l'entrée actuelle aux 30 premiers mètres, il s'agit de la zone située en amont de l'étranglement et avant le pendage. Le mesh est disponible en obj. Le modèle comporte 7 759 359 faces et 3 897 080 vertices pour la paroi gauche et 11 654 019 faces et 5 842 549 vertices pour la paroi droite. Les coordonnées relatives sont utilisées et le modèle a été recalé sur les données du scan 3D (x : 1000 ; y : 5000 ; z : 100).

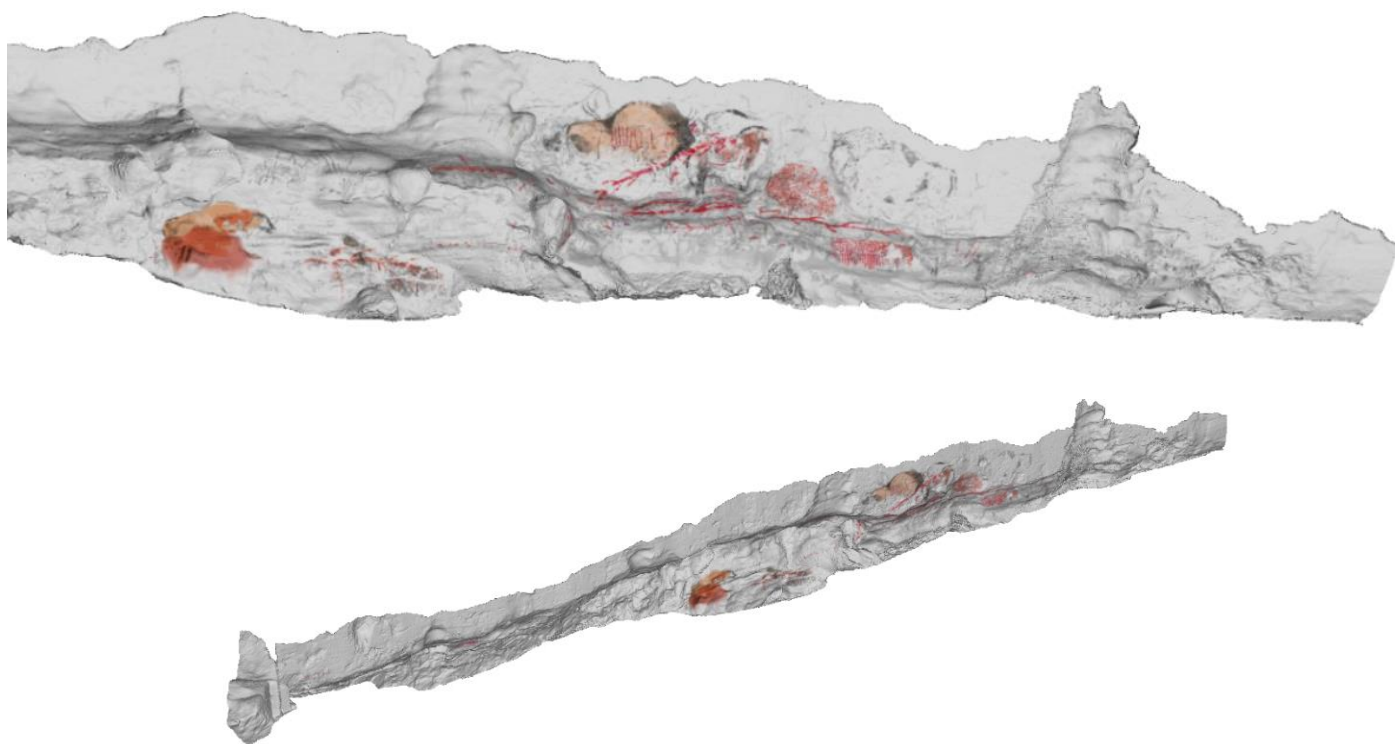


Figure 35 – Mesh texturé réalisé par Mark Willis, 2020 d'après le relevé de Gilles Tosello, image de haut, vue de face de la paroi gauche, image du bas vue aérienne de l'entrée jusqu' à l'étranglement de la paroi de gauche).

Les entités sont donc créées à partir du modèle 3D, sous Meshlab. La présence du relevé graphique comme texture a permis de les détacher aisément et de les individualiser grâce aux différents rapports d'activités. La précision du mesh est suffisante pour le travail cartographique, mais n'autorise pas les détachements millimétriques ¹⁴(Figure 36).

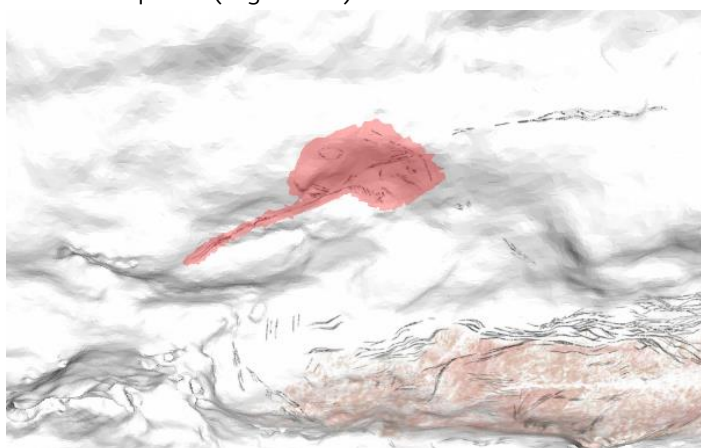


Figure 36 – Sélection d'un avant-train de cheval sur la paroi de droite, L.Louman

| | |
|--------|--------------------|
| D05-01 | Ensemble de traits |
| D05-02 | Cheval |
| D05-03 | Ensemble de traits |
| D08-01 | Tache |
| D08-02 | Tache |
| D08-03 | Figure féminine |
| D19-01 | Indéterminé |
| D20-06 | Tache |
| D20-09 | Cheval |
| D20-10 | Indéterminé |
| D20-11 | Félin |
| D20-12 | Chouette |
| D20-13 | Indéterminé |
| D22-06 | Ponctuation |
| D22-09 | Indéterminé |
| D23-02 | Signe en M |
| G25-09 | Bison |

Tableau 6 – Listes des figures non présentes sur le mesh texturé.

¹⁴ Le choix d'un maillage a été volontairement laissé important, car si un maillage est trop fin il reste plus lourd à traiter et n'aurait pas permis une ouverture optimale dans le SIG.

Les 320 entités sont réalisées à partir des deux modèles : obj et exportées au format Collada. Le format Collada est l'un des cinq formats 3D lus par ArcScene. Aujourd'hui seules 17 entités de la première partie de la grotte ne sont pas intégrées, car elles étaient absentes sur le modèle 3D (Tableau 6). C'est par exemple le cas d'une dalle ornée, située dans un enfoncement à droite de l'entrée qui présente une figure de lion et de chouette et qui ne sont pas encore incluses dans la visualisation spatiale en 3D. Cette situation est temporaire, l'arrivée des nouveaux modèles dans les mois qui suivent pourra permettre d'intégrer la totalité des figures.

L'ensemble des figures importé est enregistré en entités multipatch 3D¹⁵, dans une nouvelle geodatabase afin de conserver la texture. Ensuite le fichier de chaque figure est préalablement nommé par le code de l'entité qui a permis de réaliser une jointure attributaire à partir du socle d'information de base.

Les parois et le sol sont également intégrés. Pour cela, le scan a été maillé sous Meshlab grâce à la méthode « Poisson-Reconstruction » (Figure 37). Cette option a dû être envisagée, car l'importation au format Collada du mesh originel était trop lourd y compris en sectionnant en plusieurs parties. Les 3 parties, sol et deux parois, ont été importés comme support au SIG 3D (Figure 38). Ces trois sections ont également été importées en entités multipatch. La composition finale comprend essentiellement une base graphique des entités ainsi que les deux sections de parois qu'il est possible de faire varier avec l'affichage (Figure 39, Figure 40). L'ensemble de la symbologie, les requêtes spatiales et attributaires ainsi que les géotraitements (union et intersect) sont fonctionnels.

Le SIG a été réalisé sur le modèle texturé 3D, le modèle 3D de la photogrammétrie du « Grand Panneau peint » a également pu être intégré.

¹⁵ « Une entité multipatch est un objet SIG qui stocke un ensemble de faces pour représenter la limite d'un objet 3D sous la forme d'une ligne unique dans une base de données. Les faces stockent des informations relatives à la texture, à la couleur, à la transparence et la géométrie qui représentent différentes parties d'une entité. Les informations géométriques stockées dans une face peuvent être des triangles, des éventails des triangles, des bandes de triangles ou des anneaux, comme le montrent les illustrations ci-dessous. » (ArcGIS, <https://desktop.ArcGIS.com/fr/arcmap/10.6/extensions/3d-analyst/multipatches.htm>)

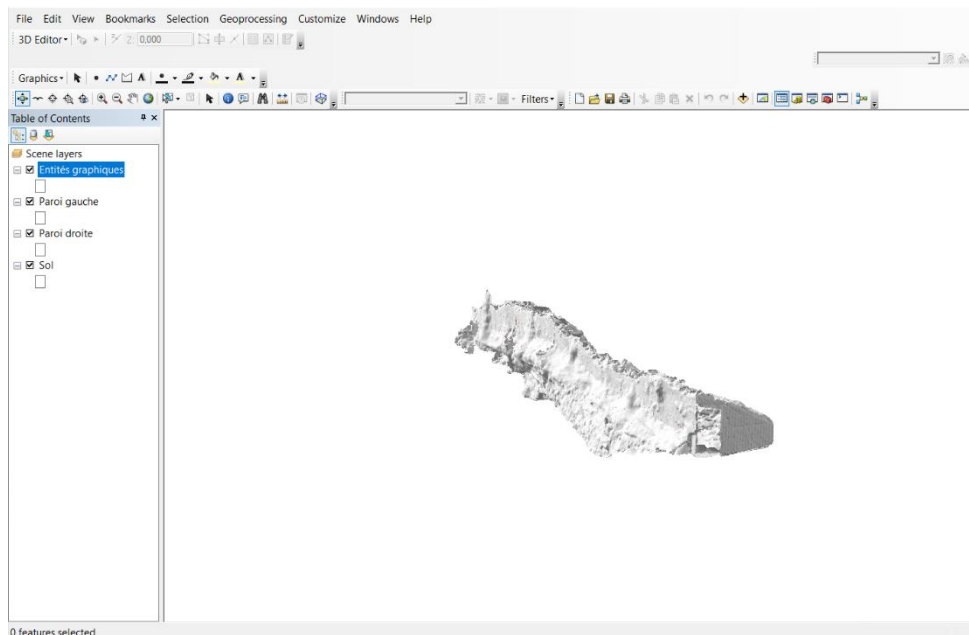


Figure 37 – Vue générale de la grotte dans Arcscène, L.Louman.

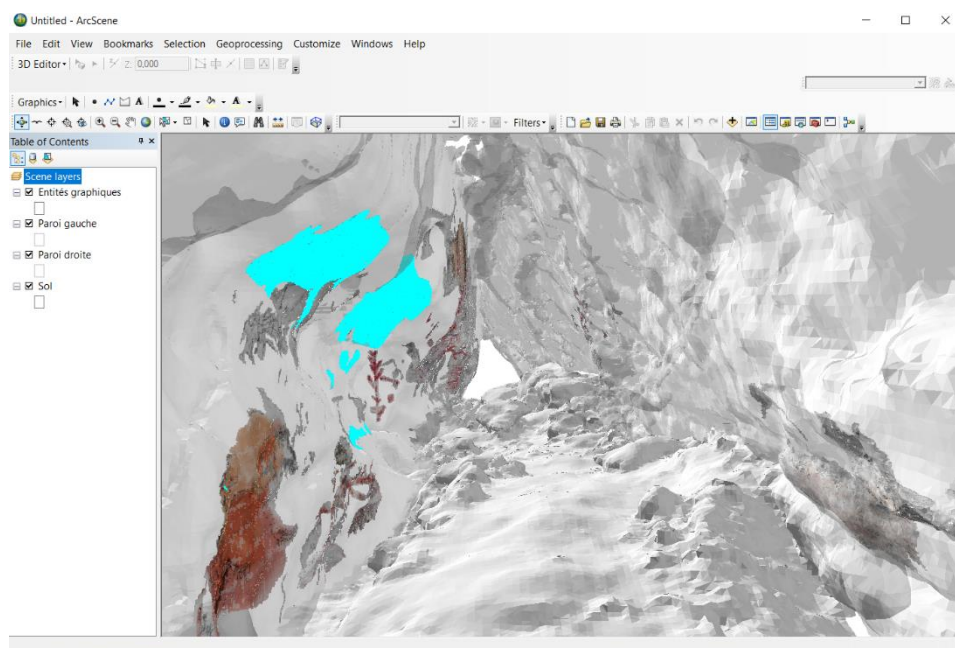


Figure 38 – Visualisation de l'entrée vers le fond de la grotte. Deux entités sont sélectionnées sur la paroi gauche, L.Louman.

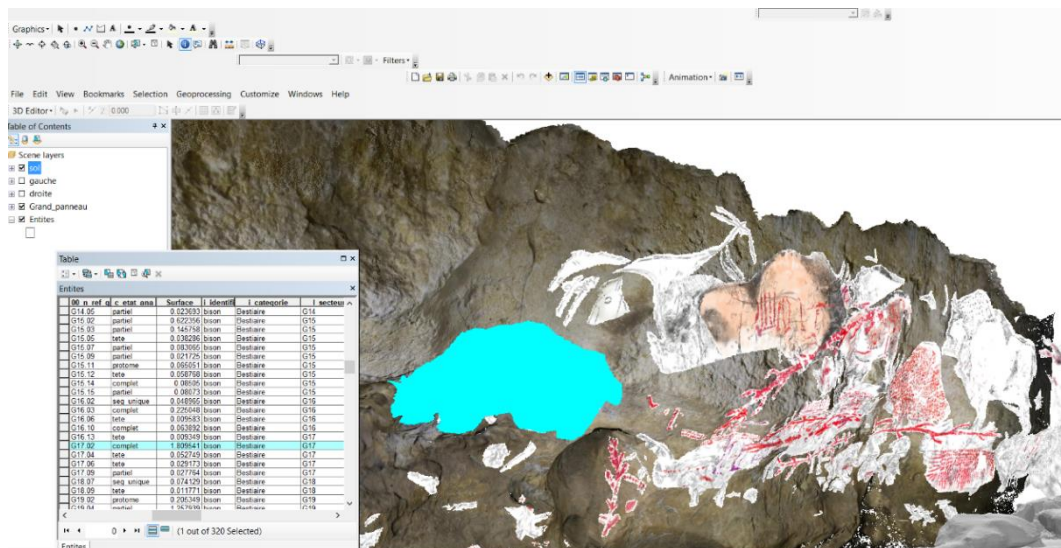


Figure 39 – Vue de l'orthophoto et sélection d'un bison dans la table attributaire, L.Louman.

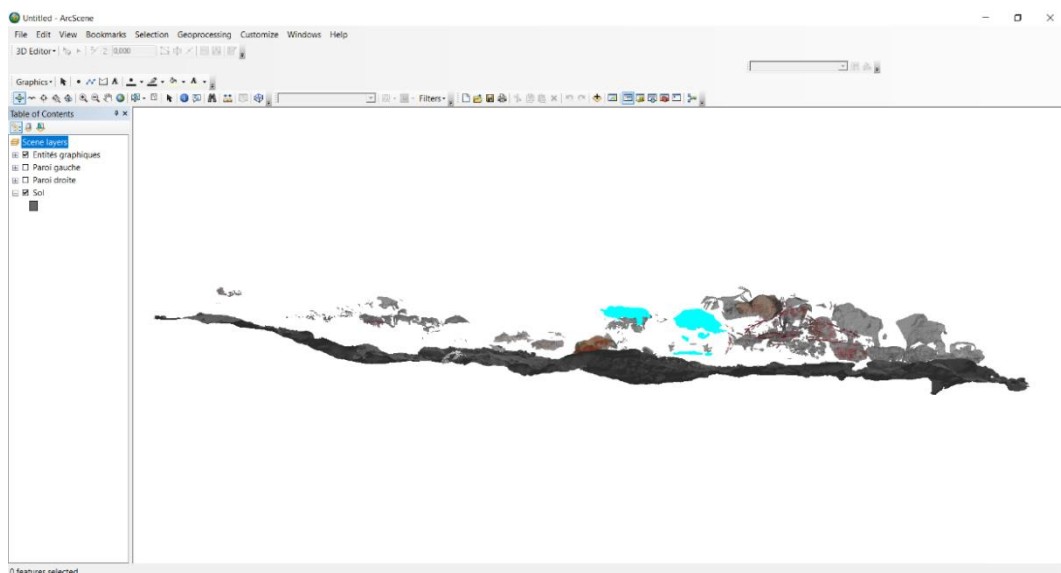


Figure 40 – Vue générale des entités sans les deux parois, L.Louman.

Cette méthode présente de nombreux avantages, car elle est immersive et tient compte de la taille réelle des entités graphiques. C'est un SIG visuel qui permet de réaliser des cartes thématiques, des requêtes attributaires et spatiales ainsi que des géotraitements. Toutefois cette méthode présente aussi des limites. La qualité des maillages doit être relativement faible et les traitements raster de la paroi ne peuvent pas être pris en compte. Ce sont deux éléments non négligeables pour l'étude de la paroi.

3.4.3. - Le SIG en 2,5D appliqué à la stratigraphie de paroi

Les limites posées par la précédente méthode invitent à rechercher d'autres solutions pour étudier des entités graphiques sur une paroi. C'est plus particulièrement la morphologie de la paroi et sa verticalité qui doivent être prises en compte dans cette démarche. Réaliser des traitements sur le relief et restituer la stratigraphie de la paroi impliquent un processus méthodologique adapté. Cette réflexion sur la modélisation verticale de la grotte nous a conduits vers une nouvelle solution. Dans ce deuxième cas, nous allons traiter les entités différemment, sans l'utilisation du traitement multipatch. Il est réalisé en 2,5D et l'intérêt est de conserver la paroi comme un modèle numérique de terrain et de créer les entités graphiques en shapefile (Figure 41). L'objectif de cette méthode est de travailler directement sur les superpositions entre les figures, à partir de la paroi, grâce à l'extrusion. Pour cela, nous avons opté pour une visualisation en 2,5D. Ce mode d'opération est notamment utilisé en architecture, il a l'intérêt de présenter la paroi comme si nous visualisions le sol. La paroi devient une surface plane, horizontale. La réalisation de ce SIG en 2,5D repose sur un modèle numérique de terrain et sur le géoréférencement¹⁶ du relevé sur ce MNT.

Le MNT de la paroi a été d'abord réalisé grâce au nuage de points du scan 3D. Les coordonnées x, y, z sont inversées pour modifier le plan d'affichage et aborder la paroi comme une vue du sol. Les valeurs métriques du modèle sont conservées dans un système local. Les données traitées sont intégrées sous la suite d'ESRI ArcGIS afin de bénéficier du viewer 3D ArcScene (ESRI). Lorsque la réalisation du MNT de paroi est effectuée, le relevé graphique est intégré en raster (.tiff). Le relevé de paroi est replacé sur le modèle par référencement spatial. La méthode de projection *Spline* est utilisée afin de bénéficier d'une précision locale. Une trentaine de points de contrôle préalablement identifiés sur le scan et ont été nécessaires au calage du relevé graphique. Le passage du relevé géoréférencé sur le modèle a entraîné une légère déformation notamment sur la zone centrale du panneau présentant une concavité. Cette déformation est normale, car le relevé est réalisé en 2D.

Les entités graphiques sont ensuite digitalisées à partir du relevé. Une couche vectorielle shapefile de chaque entité a pu être fusionnée pour créer une couche d'entités graphiques. L'orthophoto et le MNT du « Grand Panneau » réalisée par la photogrammétrie ont permis d'ajuster la taille des figures et de confirmer le géoréférencement du relevé pour cette partie de la grotte (Figure 42).

¹⁶ Le relevé graphique du « Grand Panneau » a été géoréférencé, car il a été réalisé dans les années 2000 à partir d'un montage photomontage et non d'une photogrammétrie.

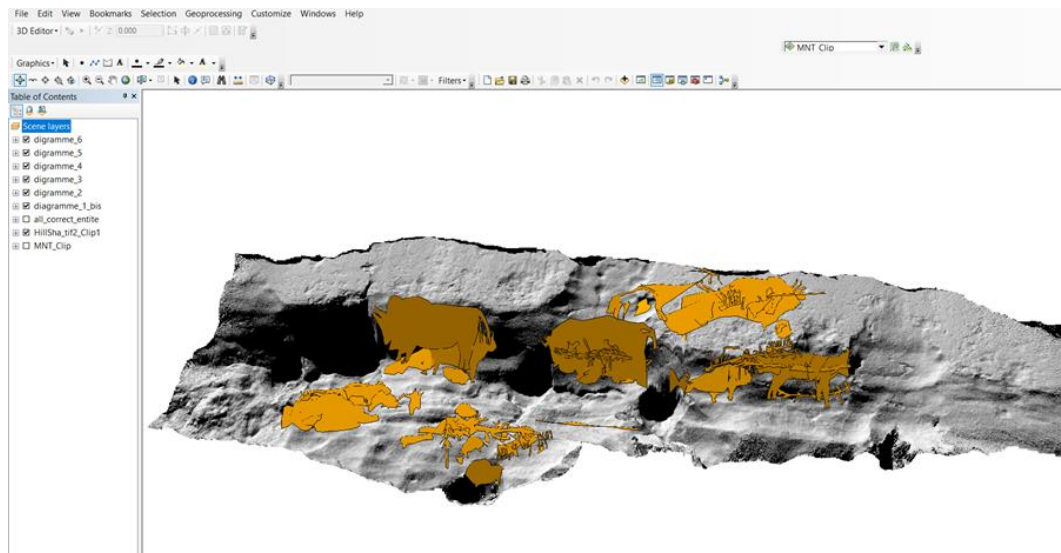


Figure 41 – Couche vectorielle et ombrage de la paroi, L.Louman.

Dans l'interface d'ArcMap, la paroi apparaît de face comme une vue aérienne classique. Une fois le modèle de la paroi basculée sous ArcScene il est possible de visualiser le relief de la paroi et de ces entités en 2,5D. Les niveaux de couches d'information sont ensuite décomposés pour rendre compte de l'ensemble des couches raster et vecteur intégré. Ce niveau de visualisation traite les entités graphiques comme un niveau stratigraphique au sol, laissant apparaître les relations d'intériorité et de postériorité. C'est cette possibilité de visualisation qui a motivé la mise en place de cette méthode. Cette démarche offre, par ailleurs, d'autres avantages : nous avons la possibilité de faire dialoguer les fonctions raster et vecteur tout en conservant l'ensemble des fonctions classiques des outils de l'analyse spatiale.

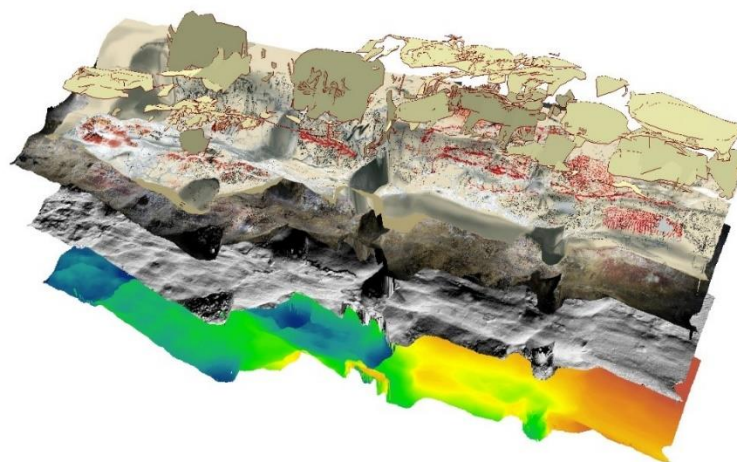


Figure 42 – Succession des couches d'informations (MNT, ombrage, orthophoto, relevé graphique, entités graphiques), L.Louman.

Toutefois cette approche présente un inconvénient : il est impossible de lier les deux parois opposées, de les faire communiquer. Nous restons dans une vision simpliste et réduite de la réalité. Cette méthode semble adaptée à la grotte-couloir où deux parois se font face, mais n'est pas appropriée à une grotte présentant de nombreuses irrégularités de relief. Cette méthode implique, par ailleurs, un traitement de la grotte segment par segment sur le modèle des panneaux. L'échelle d'étude est donc plus réduite et limitée.

3.5. - Le SIG 3D appliqué à l'analyse à l'organisation graphique

L'art pariétal est un art structurel, les associations thématiques sont codifiées et hiérarchisées. L'analyse des structures graphiques permet de caractériser cette composition. L'intérêt n'est pas de rechercher une signification des associations graphiques, mais de comprendre ce que l'organisation d'ensemble, à l'échelle de la grotte, nous renvoie sur la compréhension et les modalités de l'occupation humaine. L'enjeu est d'identifier et de décrire les modalités de cette organisation. La reprise de l'étude de la grotte offre désormais une quantité d'informations et une diversité de nouveaux éléments à prendre en compte qui peuvent modifier les interprétations précédemment formulées sur l'organisation du décor.

Avec ce travail, nous proposons des jalons méthodologiques pour l'analyse spatiale des entités graphiques. La méthode SIG 3D permet d'appliquer les outils d'analyse spatiale directement en paroi afin d'analyser les distributions graphiques. L'objectif de cette première étape est analytique et exploratoire. Différentes analyses sont réalisées – cartes de répartition, analyses spatiales, les relations entités-topographies – dans le but de dégager les tendances, les différences, les polarités et les ruptures présentes dans l'espace. Ce travail de recherche porte sur les 27 premiers mètres de la grotte, car la documentation, en l'état, n'était pas disponible pour la suite de l'étude de la cavité.

3.5.1. - Estimer la surface ornée et l'impact de la présence ornementale

Pour décrire et caractériser une grotte étudiée, les archéologues réalisent, à partir du relevé graphique, un inventaire des types de figures rencontrées. Ils font partie des pratiques archéologiques et sont surtout utilisés au moment de la restitution de l'étude. Le résultat de ces décomptes met en évidence les figures dominantes ainsi que les figures secondaires ou rares.

Toutefois la question du comptage est limitée : on ne prend pas en compte l'espace occupé par la figure, mais seulement sa présence ou non sur la paroi. Ainsi,

une figure mesurant quelques centimètres de large est comptabilisée de la même manière qu'une figure mesurant plusieurs mètres de long. Les comptages traduisent un état de présence/absence, mais pas l'importance donnée à une thématique.

En plus de la présence/absence, il nous semble alors intéressant de rechercher un moyen pour représenter l'ampleur graphique d'une thématique, un indice permettant plus précisément d'estimer la surface globale occupée par une thématique dans la grotte. Cette démarche vise à compléter les informations déjà apportées par les dénombrements des inventaires, en proposant un nouveau degré de lecture : la mesure de l'impact graphique. Nous entendons par impact graphique, l'impact visuel de l'espace occupé par chaque figure dans la grotte rapportée à son nombre d'entités. Ce type de calcul est plus adapté aux entités graphiques surfaciques : il définit le nombre d'entités et affiche les figures les plus présentes. Le modèle 3D texturé et référencé a permis de mesurer la taille, en m² de chaque figure. Cette information a été introduite dans la base de données Marsap, elle est aujourd'hui accessible dans le SIG.

Cette démarche réalisée sur les entités graphiques se rapproche de la méthode utilisée en aménagement du territoire pour la réalisation d'un Mode d'Occupation des Sols (MOS). Le Mode d'Occupation des Sols est un inventaire cartographique informatisé du territoire. C'est un dispositif d'observation, un témoin à la fois spatial et temporel de l'évolution de l'occupation des sols sur un territoire. Il offre l'avantage de mieux comprendre la structure, les caractéristiques d'un territoire à un temps donné. Ce type de documentation devient incontournable pour étudier l'espace occupé, comparer les territoires, connaître leur évolution, et effectuer des prospectives. Ces études sur les types d'espaces occupés ne se limitent pas à la géographie, elles sont aussi mobilisées dans d'autres disciplines, en géologie ou encore en urbanisme. En urbanisme par exemple, ces inventaires spatialisés livrent une information beaucoup plus précise de l'usage du sol sur laquelle s'appuient les politiques urbaines.

Il semble intéressant d'appliquer ce type d'approche à l'espace pariétal. Ce type d'inventaire permet de créer et de restituer à l'image du MOS, « un mode d'ornementation de la grotte ».

3.5.2. - Estimer la surface ornementale occupée

La création d'un indice de quantification de la surface ornée doit fournir un aperçu de l'ampleur de l'ornementation. Ce type d'indice est utile pour évaluer l'impact global des thématiques.

Les parois disponibles de la première partie de la grotte sont estimées à 276 m². Toutefois, nous supposons cette surface plus importante, car des gravures se poursuivent au-delà de la limite des sols actuels. Le niveau de sols était plus bas au Paléolithique. Dans la configuration actuelle, l'écart maximal entre le plafond et le sol est d'environ 4,27 m¹⁷, cette hauteur reste modeste comparée à d'autres grottes. En ce qui concerne les deux parois, elles sont morphologiquement différentes et n'occupent pas la même superficie. La paroi de gauche présente une surface de 118 m² jusqu'au mètre 27 et la paroi de droite est de 158 m² jusqu'au mètre 26. L'aire de ces surfaces est calculée sous Meshlab.

À partir de ce résultat, on peut estimer le rapport existant entre la surface ornée (investie graphiquement) et la surface non investie. Pour réaliser cette estimation, deux types de calculs sont possibles :

- Le premier s'appuie sur l'ensemble de « la zone ornée » indépendamment des contours graphiques des figures (Figure 43). Il s'agit là des limites maximales de la surface totale investie.
- Le deuxième calcul est « la surface cumulée des entités graphiques » (Figure 43). Ce calcul additionne la présence de chaque entité graphique y compris en cas de recouvrement.

L'un tient compte de l'espace graphique dans sa globalité, le second calcul de l'individualité de chaque figure.

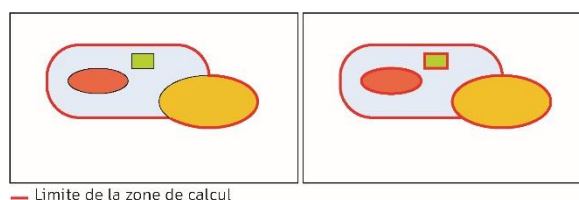


Figure 43 – Différence de calcul entre la « zone ornée » et « la surface cumulée des entités graphiques ».

| | Paroi disponible | Zone ornée | | Surface cumulée des entités | Taux de recouvrement |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| | | Surface en m ² | Surface en m ² | Pourcentage | Surface en m ² |
| | Surface en m ² | Surface en m ² | Pourcentage | Surface en m ² | Surface en m ² |
| Paroi droite | 158 | 3,26 | 2 % | 3,6 | 0,34 |
| Paroi gauche | 118 | 22,02 | 19 % | 36,6 | 14,58 |
| Total | 276 | 25,32 | 9 % | 40,2 | 14,92 |

Tableau 7 – Mesures des surfaces investies graphiquement en m².

Le premier calcul de la zone ornée indépendamment des détails des figures montre que 9 % des parois totales de la grotte sont investies. La paroi de gauche a été nettement plus investie que la paroi de droite. Sur les 158 m² de la paroi de droite, seuls 3,26 m² présentent des figures, alors que 22,02 m² sur les 118 m² de surface sont ornés à gauche (Tableau 7).

¹⁷ Hauteur prise au début du Grand panneau.

Le second calcul de la surface cumulée des entités graphiques donne un résultat similaire à la zone ornée pour la paroi de droite, mais plus élevé pour la paroi de gauche. La surface totale des entités graphiques de la paroi de gauche s'élève à 36,6 m², celle de la paroi de droite est de 3,60 m².

C'est à partir du rapport entre la zone ornée et la surface ornée cumulée que l'on obtient le taux de recouvrement des entités graphiques. La surface de différence des deux calculs est de 14,92 m². Ce sont donc 14,92 m² qui sont investis dans une surface déjà occupée par des figures. Alors que les parois vierges sont disponibles, les entités sont volontairement superposées. Ce nombre important de figures qui se recoupent semble montrer une volonté d'associer des figures entre elles, le recouvrement et la superposition dus au manque d'espace laisseraient supposer que ce choix est délibéré. Ce surinvestissement graphique affiche des zones particulières, sélectionnées, aux dépens des autres surfaces disponibles (Figure 44), l'écart entre la paroi gauche et celle de droite est caractéristique. À Marsoulas, plusieurs fois, cette différence morphologique entre les parois de gauche est soulignée par les chercheurs (Vialou, 1986 ; Plénier ; 1971 ; Foucher, 1991). Néanmoins, ces résultats doivent être nuancés, car la paroi de droite présente un état conservatoire plus dégradée que la paroi de gauche. La poursuite du travail devra déterminer dans quelle mesure ces éléments naturels ont influencé la distribution graphique et la sélection des emplacements.

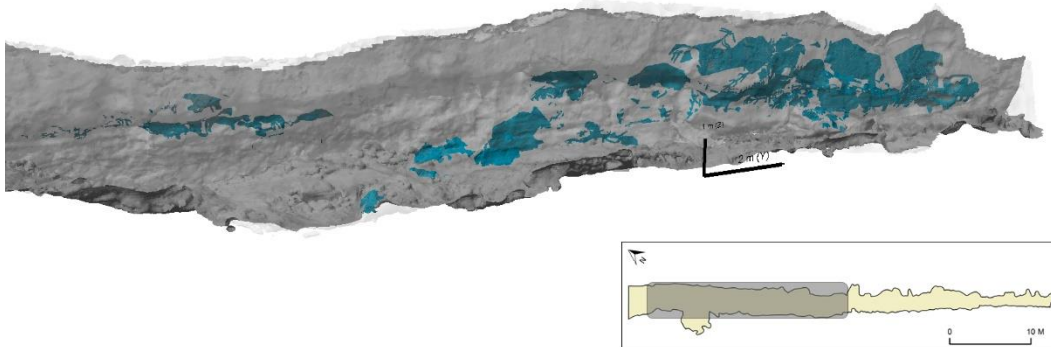
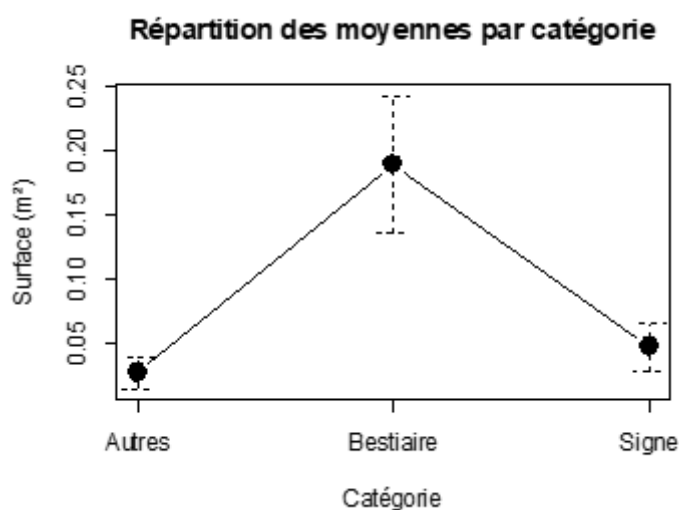


Figure 44 – Vue d’ArcScène de la paroi gauche, estimation de la zone ornée.

3.5.2.1. - Impact graphique par type de figuration

Au-delà de l'estimation des superpositions, la quantification des surfaces peut se faire en relation avec d'autres attributs (identification, technique, coloration...). Par ce moyen, nous nous intéressons aux types de manifestations qui sont, sur ou sous, représentés dans l'espace. La présence graphique va être estimée avec la récurrence des thématiques, en nombre d'entités, mais également, en terme d'impact visuel, en fonction de la surface qu'elles occupent. L'intérêt est d'observer si le nombre d'entités est corrélée à la surface occupée.

Dans la première partie de la grotte, trois types de catégories sont identifiées. Ces catégories sont les principales thématiques de l'art préhistorique : le bestiaire et les figures anthropomorphes, les signes et les motifs géométriques et les tracés indéterminés (Graphique 3).



Graphique 3 – Répartition des entités en fonction de leur surface et groupées par catégorie.

Nous pouvons, tout d'abord, comparer les répartitions de surface en fonction des trois types de catégories : indéterminés (Autres), figuratif (Bestiaire) ainsi que les signes (Signe). La répartition des distributions d'entités en fonction des surfaces permet d'observer l'ampleur de chaque catégorie dans la première partie de la grotte. Ensuite, à la vue du graphique, nous constatons que le bestiaire domine très largement les représentations avec des figures allant de 0,15 à 0,25 m². Les signes restent plus discrets avec des tailles moins importantes autour de 0,05 m², leur écart-type est également plus restreint que pour le bestiaire. Enfin, la catégorie autres comprend des figures autour de 0,02 m². La visualisation de cette catégorie permet d'observer qu'elle se compose de manifestations restreintes voir de résidus de figures en comparaison des deux autres catégories.

Dans la figure 45, le bestiaire¹⁸ se compose de 180 entités, les « signes » de 92 entités et les tracés indéterminés (Autres) comportent 43 entités (Figure 45). Le bestiaire occupe une place dominante par rapport aux des deux autres catégories. Bien que l'écart soit important avec le bestiaire, ces deux classes restent néanmoins importantes dans la grotte et visibles dans le corpus.

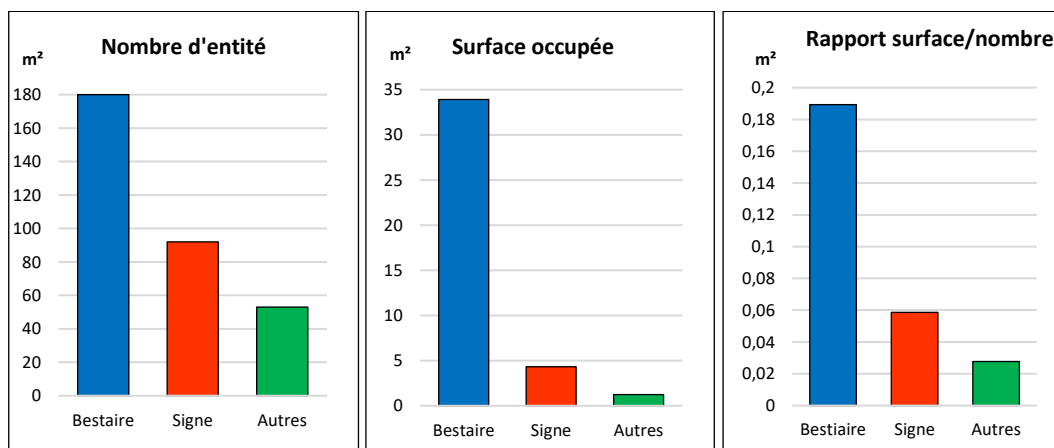


Figure 45 – Surface occupée par catégorie/ Figure 46 – nombre d'entités par catégorie/ Figure 47 – rapport surface/nombre d'entités.

Pour déterminer les surfaces totales occupées par les différentes thématiques, les entités de chaque catégorie sont additionnées. Ces résultats offrent une meilleure visibilité et lisibilité de l'espace occupé par chaque catégorie (Figure 46).

Comme précédemment, les figures animales et anthropomorphes occupent 33,91 m² soit 93 % de la surface investie. Les signes représentent 4,34 m² et les tracés indéterminés 1,23 m². Les figures animales dominant l'ensemble des représentations qui sont alors réalisées sur de larges surfaces. Les écarts de surfaces de ces différentes thématiques sont significatives. Il faut cependant pondérer ces résultats avec le nombre de figures, pour chaque thématique, afin de pouvoir comparer la taille moyenne d'une entité.

Pour estimer la surface en fonction du nombre d'entités, nous avons réalisé un rapport entre les nombres d'entités et la taille des figures (Figure 47). Ce rapport traduit la taille moyenne d'une entité graphique en fonction de sa catégorie. L'observation montre à nouveau la supériorité du bestiaire sur les signes et les tracés indéterminés. La moyenne d'une figure du bestiaire est d'environ 0,189 m² contre 0,058 m² pour les signes et de 0,027 m² pour les tracés indéterminés.

Ainsi, nous constatons que les figures animales restent au cœur du dispositif graphique, elles structurent l'essentiel de l'art symbolique. Les signes, nombreux, sont souvent des entités plus petites qui sont, dans ce cas présent, associés aux figures animales. Enfin, les tracés indéterminés sont une catégorie par défaut qui

¹⁸ Cette catégorie se compose du bestiaire et de la présence d'une figure anthropomorphe.

peut correspondre à des réactions, à des gestes isolés, à des figures non complètes ou volontairement non explicites. Les tracés indéterminés apparaissent, encore une fois, bien inférieurs par rapport aux figures animales et aux signes. Cette catégorie est peu présente dans l'espace et suggère des gestes plus minimalistes.

3.5.2.2. - Impact graphique par espèce

Comprendre le choix graphique des espèces représentées sur les parois est fondamental. Ainsi, on peut se demander si les figures les plus emblématiques (bison, bouquetin, cheval) sont aussi celles qui occupent le plus de surface dans la grotte.

Pour comptabiliser ces figures animales du corpus, sans perdre de l'information, nous retenons l'espèce animale comme niveau de classification le plus détaillé. Ce niveau de détail permet d'observer les spécificités et les particularismes du bestiaire. Pour mener ce travail exploratoire, nous avons établi plusieurs échelles de lecture.

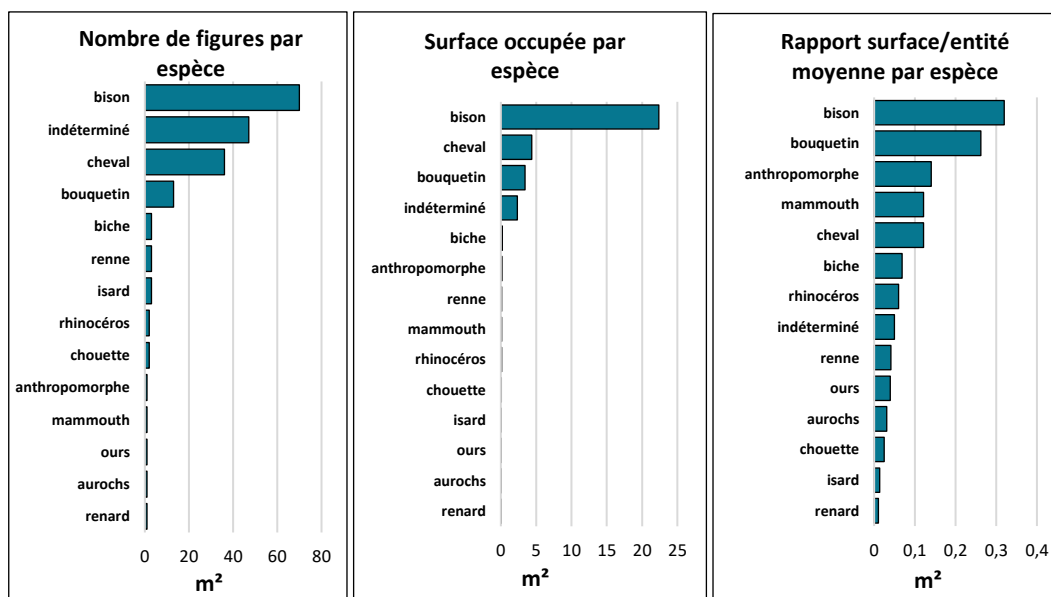


Figure 48 – Nombre de figures présentes par espèce/Figure 49 – Surface en m² occupée par espèce/Figure 50 – Rapport surface/entité.

Dans ce premier niveau de lecture, le détail des espèces est présenté par fréquence (Figure 48). Dans la première partie de la grotte, en comptabilisant les espèces animales par ordre décroissant, nous constatons que les espèces dominantes sont tout d'abord les bisons (70), puis les figures indéterminées (47) et les chevaux (36). Les bouquetins sont représentés avec 13 exemplaires. Les biches, rennes et isards sont également présents avec 3 individus. Enfin, nous trouvons des espèces plus rares comme les rhinocéros (2), les chouettes (2), l'anthropomorphe (1), le mammouth (1), ours (1) et le renard (1). Ces résultats ne sont pas surprenants, ce sont des figures animales présentes compte tenu de ce contexte pyrénéen.

Or, si on observe la surface occupée par chaque thématique en m² (Figure 49), la classification ne se modifie pas, exceptée pour le bison qui domine largement l'espace avec 22 m². Ce ne sont plus les figures indéterminées qui apparaissent dans la hiérarchie, mais les chevaux avec une surface de 4,3 m². Les bouquetins sont désormais placés en 3e position avec 3,7 m². Les animaux indéterminés avec une surface 2,3 m² se retrouvent au quatrième rang alors qu'ils figurent en deuxième position dans la répartition par nombre de figures. Les autres espèces sont peu présentes, car elles occupent obligatoirement moins d'espaces à cause de leur faible effectif.

Enfin, si l'on pondère la surface de ces entités par leur nombre d'entités, on obtient la taille moyenne d'une figure par espèce (Figure 49). Ces mesures permettent d'observer les espèces dont la taille de réalisation est plus importante et donc plus visible dans la grotte. Les bisons et les bouquetins sont les figures dont la taille est la plus grande avec respectivement 0,7 et 0,3 m². La troisième espèce dont le rapport présence/taille est le plus élevé, est la seule figure anthropomorphe. Enfin, l'unique mammouth et les chevaux ont un indice similaire de 0,12 m². Les autres espèces sont peu représentées en termes de taille dans le graphique.

Dans cette première partie de la grotte de Marsoulas, c'est la triade (bison, cheval et bouquetin) qui domine en nombre et en espace cumulé.

Ces graphiques laissent néanmoins entrevoir que le nombre d'entités n'est pas forcément lié à l'ampleur graphique sur une paroi. Des thématiques sont moins présentes en fréquences, mais sont relativement importantes en termes de taille occupée, c'est le cas du bouquetin. Le rapport entre la surface occupée et le nombre de figures (qui revient à donner la surface moyenne d'une figure) montre que les bisons, les bouquetins et l'anthropomorphe ont un impact visuel plus important que les autres figures. Par ailleurs, nous ne constatons aucun lien entre la taille d'une figure et les proportions réelles des animaux dans la nature.

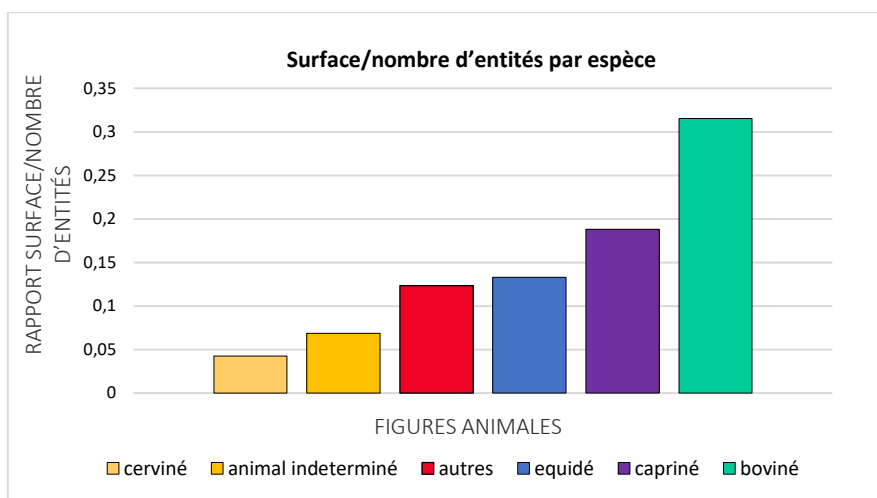
Dans un deuxième niveau de lecture, nous utilisons une seconde classification. En raison des faibles effectifs de certaines thématiques, une échelle plus large résume l'information mise en place, elle offre une lecture plus synthétique des espèces animales présentes dans le corpus (Figure 50). Les espèces à moins de trois exemplaires sont regroupées (l'aurochs, le rhinocéros, le mammouth, le renard, le lion, et la chouette) dans la catégorie « autres ». Les autres figures sont rassemblées en « sous-famille », excepté le cheval qui ne présente pas de sous-famille, le terme d'équidés est conservé. Les bouquetins et les isards sont intégrés dans les caprinés. La biche et les rennes sont placés dans le groupe cervinés.

Ce nouveau niveau de lecture affiche la médiane et les écarts-types des tailles des entités par sous-famille. Elle permet de comparer l'étendue des différentes

distributions grâce aux écarts-types et à la médiane. Ces nouvelles classifications amènent plusieurs constats.

Les bovinés dominent largement les représentations sur la paroi, par leur effectif et en surface d'occupation. Ces regroupements renforcent les résultats déjà observés. Les caprinés et les bovinés sont les sous-familles les plus importantes, en termes de taille, dans la première partie de la grotte. À titre de comparaison, un boviné à une taille de 0,315 m² contre 0,042 m² pour un cerviné. Les équidés sont moins présents que les caprinés. Les figures indéterminées sont également très présentes en quantité, mais occupent peu de surface. Ces figures indéterminées sont souvent réduites à un attribut unique (œil, jambe, arrière-train), elles sont parfois difficilement identifiables ce qui explique leur faible étendue surfacique. Ces figures indéterminées ont néanmoins un impact graphique plus fort que les cervinés.

La mesure de l'impact graphique par type de figuration affiche différents résultats (Graphique 4, Figure 51). Une figure présente en quantité n'occupe pas forcément une surface importante dans la grotte. Dans le cas étudié, seuls les bovinés montrent une cohérence entre les effectifs, la surface occupée, et la taille moyenne des figures. À partir de ces résultats, les bovinés se présentent comme la figure dominante en termes d'effectif, cette espèce animale occupe par ailleurs 61 % de la première partie de la grotte, soit plus de 50 % des représentations totales.



Graphique 4 – Rapport surface/nombre d'entités par famille

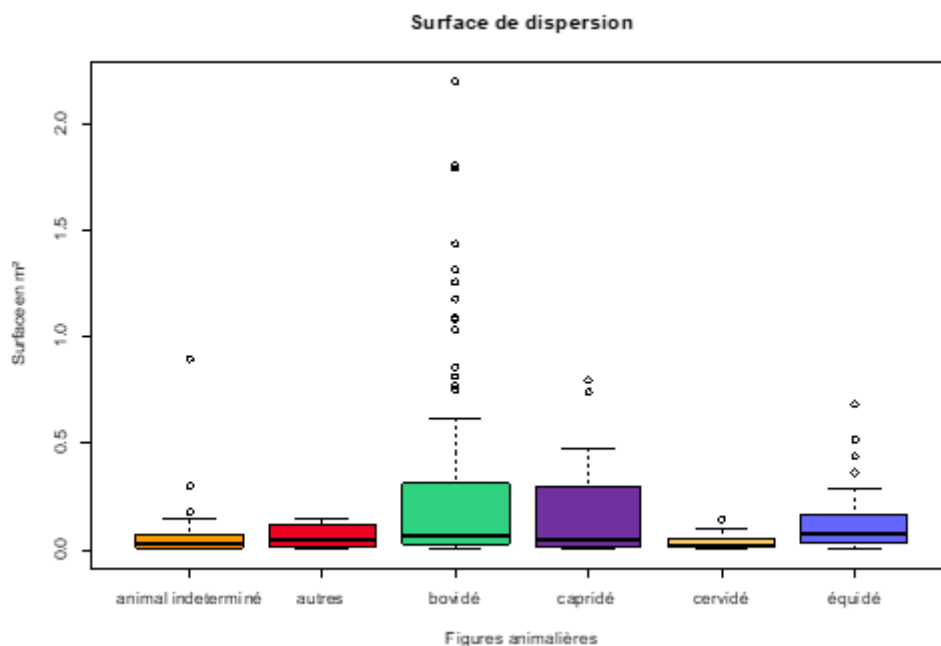


Figure 51 – Boîte de dispersion des familles

Cette manière de quantifier les figures offre un nouveau regard sur la répartition des espèces. Les résultats démontrent qu'il n'existe pas de lien entre la taille réelle d'une espèce et son traitement surfacique, les figures ne sont pas proportionnées dans ce sens.

3.5.2.3. - Relations entre les variables surfaces, thématiques et techniques

Après avoir étudié la surface, l'objectif est de repérer les récurrences ou les similarités dans le traitement des figures. Certains chercheurs ont soulevé, à Marsoulas, le caractère hétérogène des figures. Il faut donc dégager la corrélation entre les différentes variables comme les tailles, les techniques et les thématiques.

Nous avons appliqué de nouveaux tests de corrélation, afin de déterminer s'il existe des liens de dépendance entre certaines variables. Ils concernent le traitement de la surface associée à une technique particulière et une espèce donnée.

Pour réaliser ce test statistique, un premier essai normalité est effectué sur les surfaces pour choisir le test de corrélation qui sera le plus adapté par la suite. Le test de normalité réalisé est le Shapiro-Wilk, pour observer si la distribution suit la loi normale.

Shapiro-Wilk normality test

data: Surface

W = 0,44288, p-value < 2.2e-16

La p-value est significative, la distribution n'obéit donc pas à la loi normale. Ce résultat implique alors de sélectionner un test de corrélation adapté. Nous choisissons le test de Kendall, approprié aux distributions ne répondant pas à la loi normale, car il est basé sur le rang. Nous déterminons ensuite s'il existe un lien de dépendance entre les surfaces et les espèces. Ce test s'effectue au niveau des sous-familles, les variables étant qualitatives elles sont alors recodées.

Kendall's rank correlation tau

data: c_etat_ana and Surface

z = -6,068 5, p-value = 0,000000001291

alternative hypothesis : true tau is not equal to 0

sample estimates:

tau

-0,335509 1

Dans ce test la p-value est inférieure à Z. Le coefficient de corrélation est de -0,335. Elle se rapproche de 0. L'hypothèse H0 est rejetée et confirme qu'il existe un lien de corrélation entre l'espèce et la surface. Le choix de la taille de chaque espèce est bien délibéré. Cela démontre un choix de composition bien pensé.

Par ailleurs, ce test a également été réalisé avec les variables « surface » et « technique ». Le test Kendall a été appliqué, car comme précédemment la distribution ne répond pas à la loi normale.

Kendall's rank correlation tau

data: Surface and t_rendu

z = -3,6683, p-value = 0,0002441

alternative hypothesis : true tau is not equal to 0

sample estimates:

tau

-0,164408

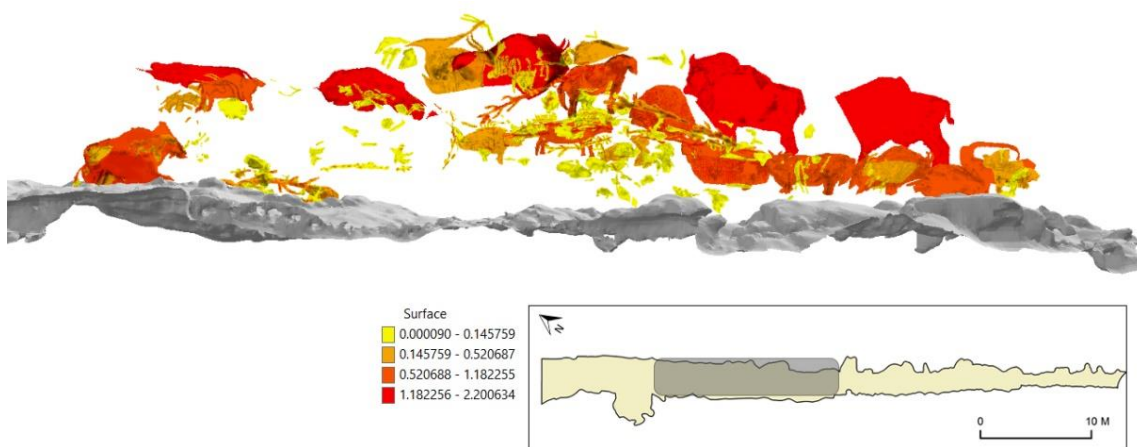
Dans ce test la p-value est inférieure à Z. Le coefficient de corrélation est de -0,164408. L'hypothèse H0 est une nouvelle fois rejetée. Il existe un lien de corrélation entre la technique et la surface.

La réalisation de ces deux tests statistiques renforce les observations précédentes. La surface est un critère déterminant et un élément primordial pour rendre compte des liens de dépendance entre la taille et la technique ainsi que l'espèce et la taille. Cela signifie qu'en fonction de la technique utilisée la taille va être adaptée et qu'elle dépend également de l'espèce représentée. Dans le rendu

graphique d'une espèce, la surface et la technique sont choisies. Ces variables sont alors structurantes dans la création graphique.

3.5.2.4. - Répartitions spatiales des surfaces occupées

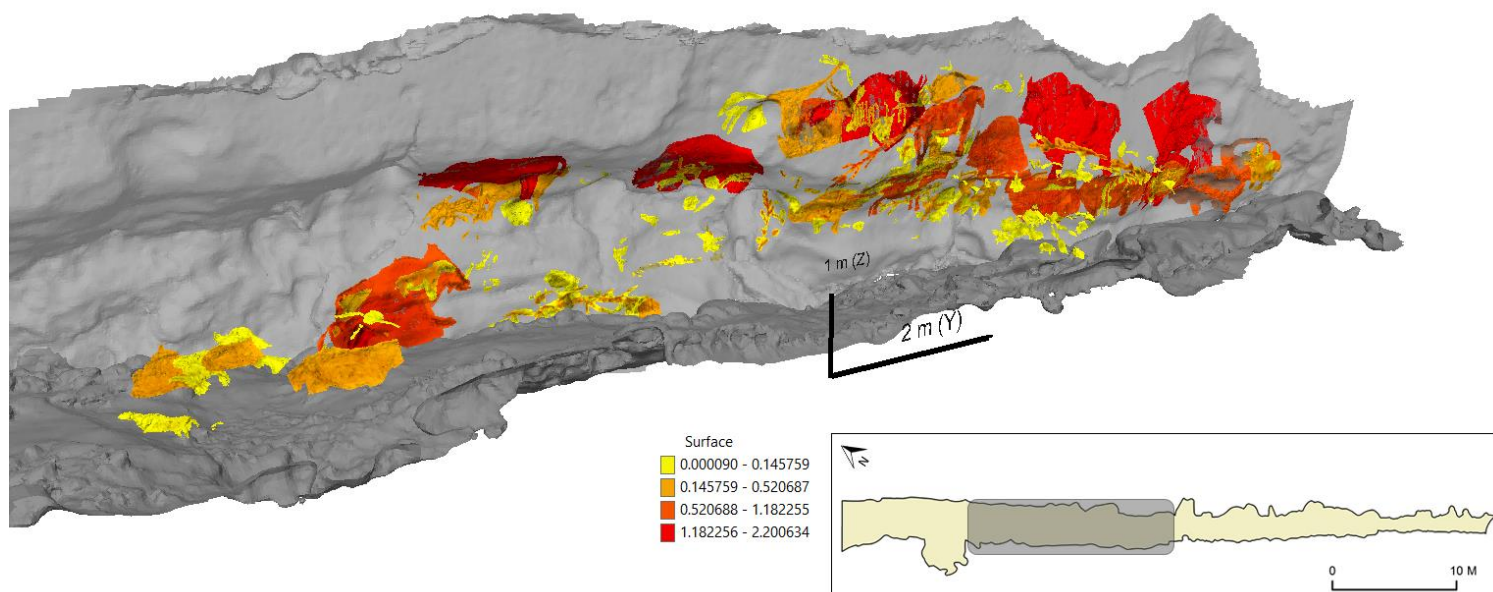
L'étude des surfaces occupées par les espèces permet d'appréhender les choix graphiques réalisés dans la grotte. Alors que le bestiaire domine largement l'étendue graphique, il est intéressant d'analyser comment se répartissent ces surfaces dans sur les parois. Pour visualiser ce phénomène, la cartographie exploratoire offre la possibilité de mettre en évidence l'étendue de la construction des entités graphiques. La réalisation de cette cartographie implique la création d'une analyse graduelle sur le champ « surface occupée » (Carte 4, Carte 5). La discrétisation de cette cartographie a été effectuée avec « les ruptures naturelles », car ce type de variable est adapté aux répartitions discontinues.



Carte 4 – Vue ArcScène derrière la paroi droite face au Grand Panneau peint.

Cette cartographie montre les figures ordonnées par taille (Carte 5). La classe, la plus élevée (en rouge) regroupe les spécimens de 1,18 m² à 2,20 m². Au sein de ce groupe de 5 entités, nous remarquons que ce sont uniquement des bisons situés dans le registre supérieur. Ils se répartissent au niveau du Grand Panneau peint de manière régulière et symétrique. La seconde classe de 0,52 à 1,18 m² est représentée en orange foncé. Les entités s'organisent dans le registre inférieur et intermédiaire. Les bisons sont les entités dominantes, des chevaux et des bouquetins sont également présents. Les entités sont très visibles et comme pour la classe rouge, elles structurent le panneau. Le troisième groupe (en orange clair) comprend des figures de 0,14 à 0,52 m². Au sein de cette classe, les entités sont moins imposantes. Ce groupe se caractérise par des signes barbelés et quelques entités figuratives.

Cette classe comprend des thématiques variées ainsi que des gravures assez discrètes.



Carte 5 – Vue ArcScène de l'analyse graduelle, orientée derrière la paroi droite vers le fond.

La dernière classe en jaune (0 à 0,14 m²) regroupe des tracés indéterminés, des gravures animales et en majorité des signes peints en rouge. Les manifestations graphiques présentes dans cette classe paraissent se déployer autour des grandes entités en rouge et orange foncé.

La visualisation de la répartition des surfaces convoque plusieurs observations. Tout d'abord, en ce qui concerne le choix d'emplacement des grandes figures, nous constatons qu'elles structurent le panneau, elles sont espacées et encadrent le dispositif. Nous remarquons ensuite que moins les entités sont imposantes, moins elles apparaissent ordonnées dans le panneau. Par ailleurs, ces dessins plus modestes en taille, en jaune et en orangé, s'intègrent autour de ces grandes figures structurantes.

3.5.3. - Visualiser le déroulé graphique

A présent, le SIG 3D va être mis au profit de la représentation du déroulé graphique. L'intérêt de ce type de méthode va permettre d'illustrer, aussi bien les ruptures graphiques que l'arrivée des thématiques, tout en conservant les particularismes et spécificités de la grotte. Le passage au SIG, peut nous offrir de nouveaux moyens de représentation de ce déroulé graphique en gardant l'information nécessaire.

Grâce au SIG 3D, nous avons la possibilité de sélectionner la grotte en tronçons de 50 cm (Figure 52). Cette échelle de valeurs est adoptée, car elle correspond à la

longueur moyenne d'une entité graphique de la première partie de la grotte (0,47 cm). Sur les 30 premiers mètres, 60 tranches sont créées.

Cette échelle traite la grotte plus synthétiquement, il s'agit d'un degré optimal pour condenser les particularismes de la répartition des figures sans occulter les spécificités. Ces tranches sont créées sous CloudCompare par CrossSection qui égalise les sections. Puis elles sont importées en multipatch sous ArcScène selon le même procédé méthodologique utilisé pour les entités graphiques (Figure 39).

Ensuite, nous avons réalisé des requêtes spatiales pour observer quelles entités graphiques étaient présentes sur chaque tranche de la grotte.

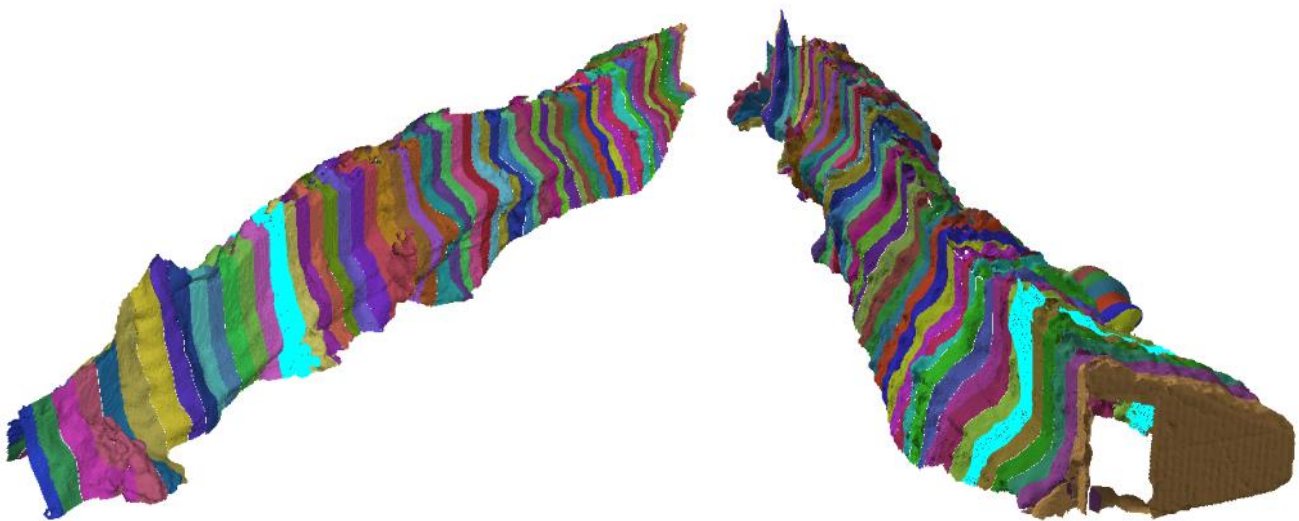


Figure 52 – Visualisation des sections de 50 cm de l'entrée jusqu'à l'étréite.

3.5.3.1. - Le déroulé des principales thématiques

Le SIG permet de restituer l'emplacement des thématiques de manière synthétique. Cependant, la quantité et la diversité d'informations dues au nombre important d'entités rendent l'observation de la distribution graphique complexe. Néanmoins, la cartographie ci-dessous (Figure 53, Figure 54) affiche les concentrations et les ruptures. En bleu, nous remarquons une concentration du bestiaire. En rouge, les signes sont visibles surtout dans la partie la plus éloignée de l'entrée. En vert, les zones aux tracés indéterminés sont beaucoup plus discrètes et se mêlent aux entités figuratives. Les cartes permettent d'observer la densité graphique et le nombre relativement important d'entités dans cette première partie.

Elles restent en l'état peu lisibles, mais les requêtes spatiales nous offrent la possibilité de choisir un nouveau système de représentation.

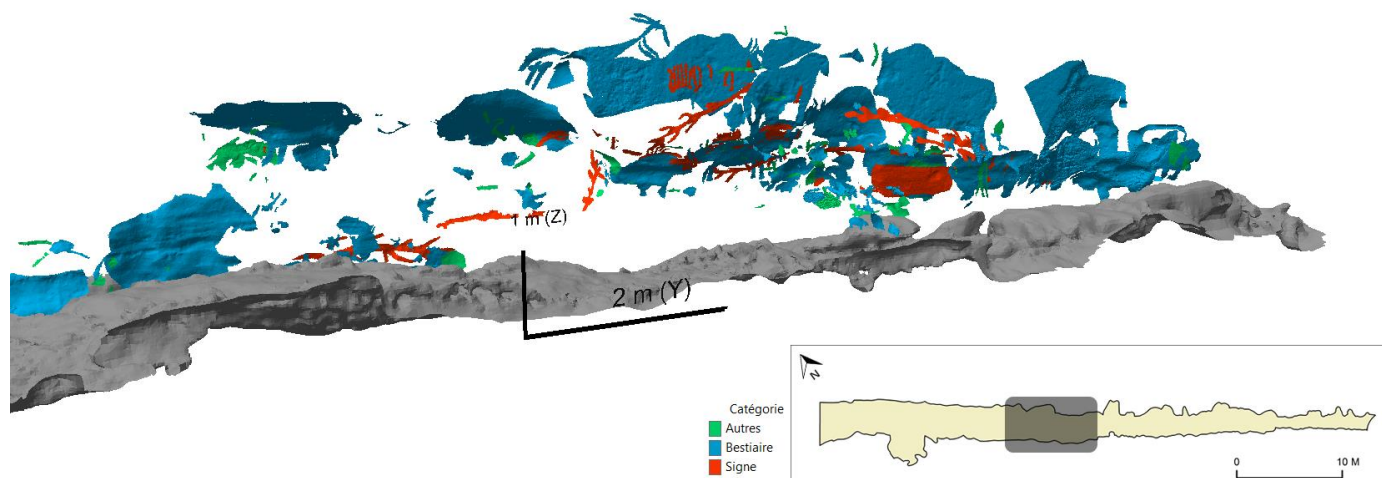


Figure 53 – Vue ArcScène de la répartition des thématiques, vue derrière la paroi de droite orientée vers la paroi de gauche.

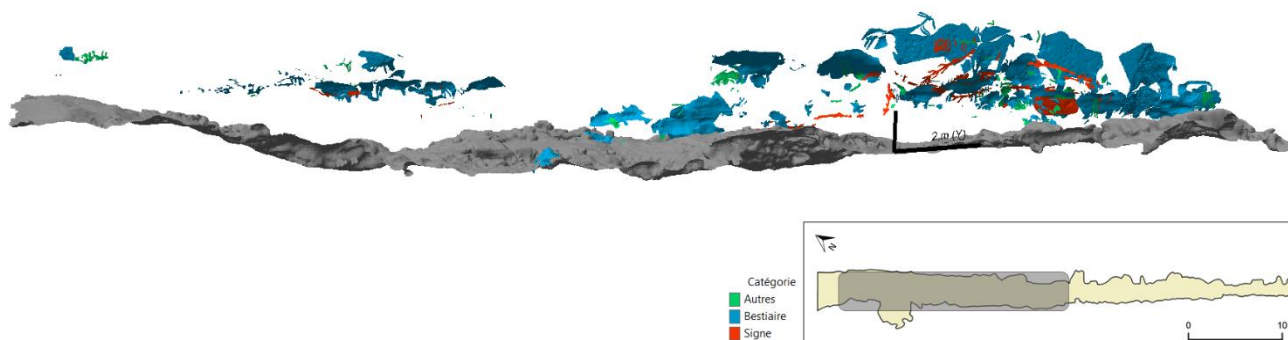


Figure 54 – Vue ArcScène derrière la paroi de gauche vers l'entrée.

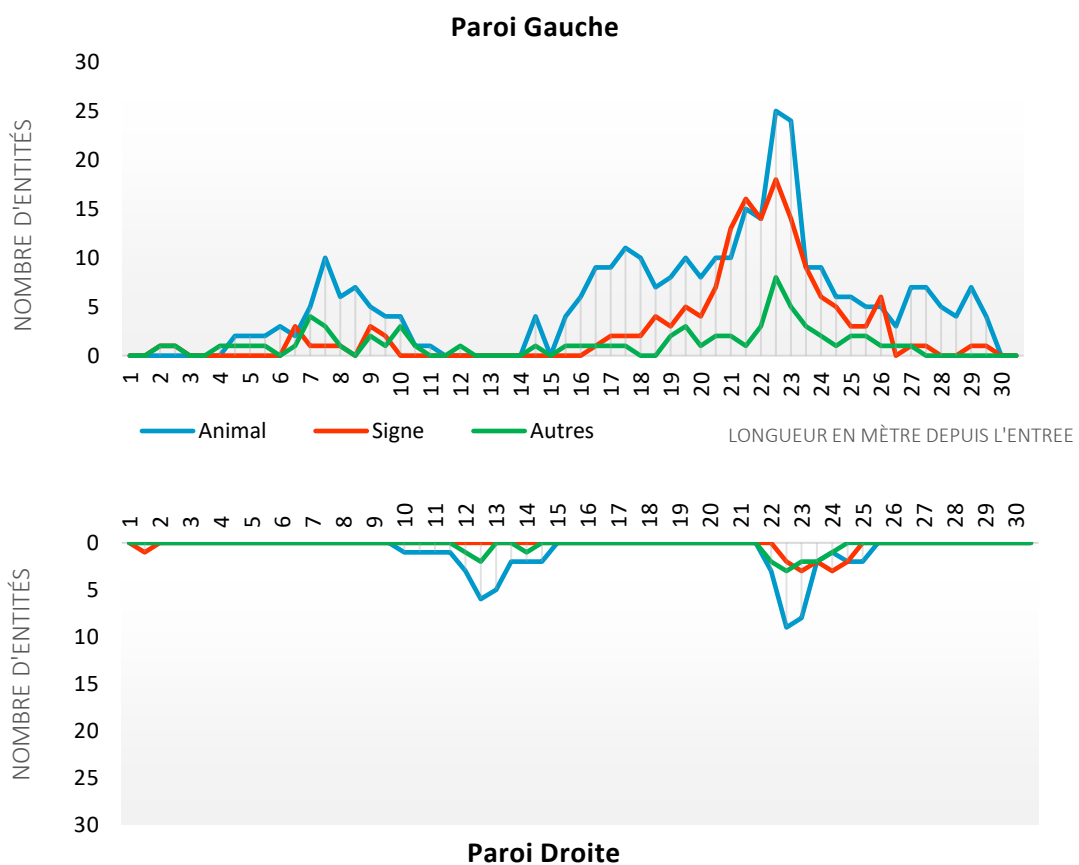
Pour chaque portion de la grotte, nous quantifions la présence ou l'absence de la figure sur la section. Une requête spatiale est réalisée, sur chaque tronçon, afin d'évaluer le nombre d'entités graphiques présent par type puis le résultat de la requête spatiale est exporté pour les trois thématiques (signes, bestiaire et tracés indéterminés). En cas d'absence, la valeur nulle est conservée. Le résultat des requêtes, présenté sous forme de graphiques (Graphique 5), atteste de la répartition des thématiques dans la progression. À ce stade, le SIG est mobilisé comme une étape analytique intermédiaire pour exporter le résultat des requêtes.

Les deux graphiques représentent pour l'un la paroi droite, pour l'autre la paroi gauche. Pour chacune des parois, sur l'axe des abscisses est indiqué le nombre d'entités, sur l'axe des ordonnées la distance en mètre – depuis l'entrée à l'étranglement (Graphique 5). À la lecture de ces graphiques, plusieurs pics s'affichent. Tout d'abord, un pic important, de 25 entités au mètre 23, pour le bestiaire. Ensuite un pic apparaît au mètre 22 pour les signes, avec 15 entités sur une même section de 50 cm. Cette

courbe paraît également suivre la répartition du bestiaire animalier. Enfin, les tracés indéterminés suivent également cette tendance au mètre 23. Il est à noter que ces mêmes pics se retrouvent en miroir, sur la paroi opposée, qui présente pourtant très peu d'entités graphiques. Sur la paroi droite entre le mètre 22 et 23, nous notons en miroir l'apparition croissante de figures.

Des ruptures graphiques s'observent : sur la paroi de gauche, entre le mètre 11 et le mètre 14 et sur la paroi de droite du mètre 2 à 9, 15 à 21 et 26 à 30. Cependant, si l'on additionne les deux parois, nous ne constatons aucune rupture graphique, le dispositif présente une continuité de l'entrée jusqu'à l'étréouiture. Par ailleurs, nous remarquons que lorsque la paroi de gauche présente une absence graphique, des entités se retrouvent sur la paroi opposée. Ce constat peut être également lié à des problèmes conservatoires.

Les pics graphiques paraissent corrélés pour le bestiaire, les signes et les tracés indéterminés ; ils se retrouvent également sur l'autre paroi.

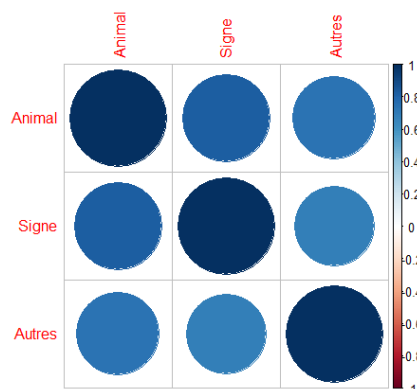


Graphique 5 – Répartition des thématiques dans le déroulé graphique.

Pour évaluer ce rapport entre les courbes, une matrice de corrélation est réalisée sous R avec le package corrplot (Graphique 6), à partir du tableau des résultats des requêtes spatiales. Nous observons, si la répartition des mètres est corrélée avec

l'apparition des animaux, des signes et des tracés indéterminés, et si ces variables thématiques sont corrélées entre elles. Le résultat affiche alors un coefficient de corrélation : plus le coefficient se rapproche de 1 ou -1, plus la dépendance est élevée. La matrice réalisée montre des variables de dépendance entre le bestiaire, les signes, et les autres tracés indéterminés : le coefficient de corrélation est de 0,76 pour les animaux, 0,72 pour les signes, et 0,67 pour tracés indéterminés.

Cela démontre que les catégories de représentation suivent les mêmes tendances de distribution indépendamment de leur catégorie.



Graphique 6 – Matrice de corrélation.

Ce coefficient élevé témoigne du lien entre la répartition des signes, du bestiaire et des tracés indéterminés. Ce résultat est bien sûr attendu, car ces types d'entités sont synchrones et généralement contemporains. Cette répartition confirme bien que les thématiques sont associées sur la paroi, indépendamment du fait qu'elle soit figurative ou non figurative - et invite à écarter l'existence d'une phase de signes indépendante comme le pensait Henri Breuil. Ces résultats démontrent, clairement, l'absence d'une répartition spécifique pour le bestiaire, les tracés indéterminés ou les signes, le long de la grotte ; ces entités graphiques se concentrent dans les mêmes zones et sont polarisées dans l'espace.

Nous observons, par ailleurs, une continuité graphique de la distribution des figures, qui se répond de la paroi gauche à la paroi droite, tout le long du dispositif, sans aucune rupture.

3.5.3.2. - Le déroulé par espèces

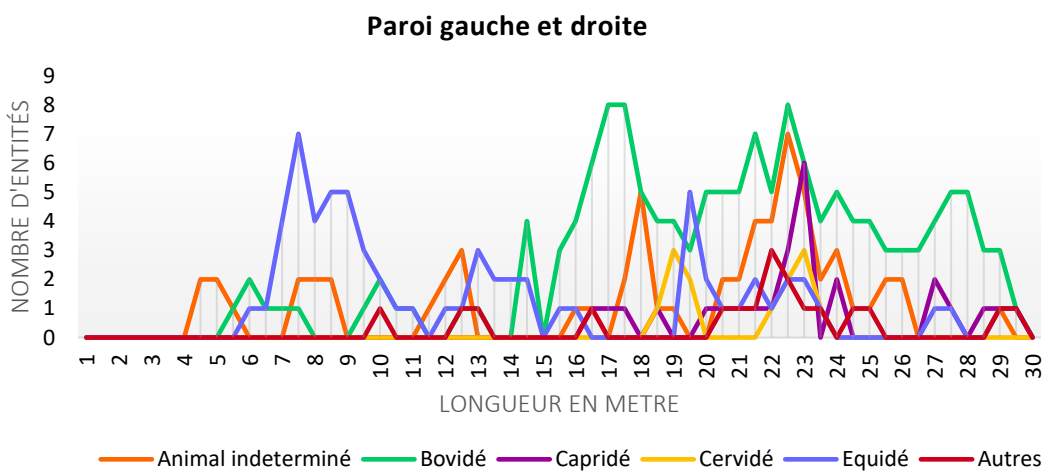
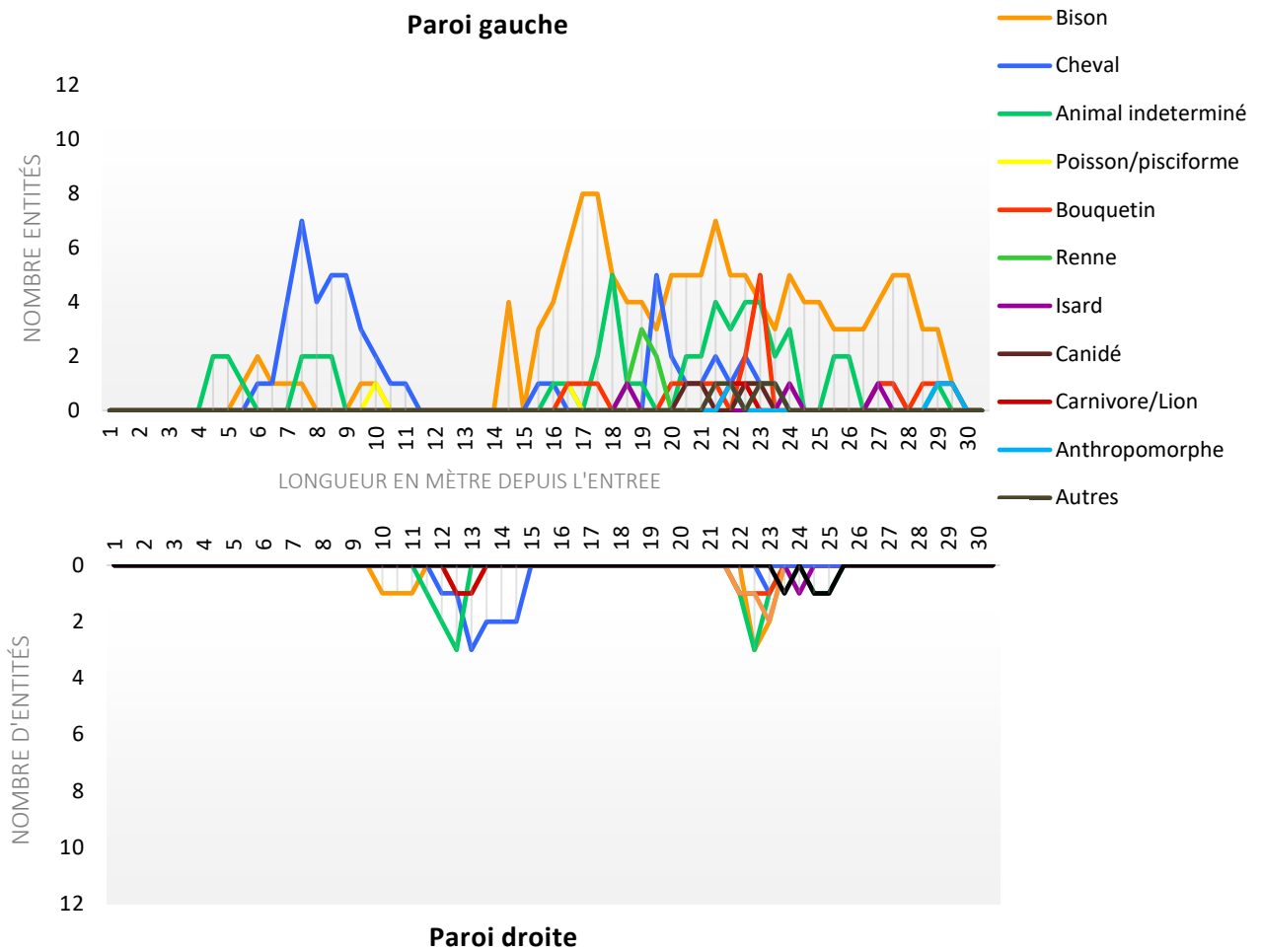
Le déroulé graphique des thématiques, par espèce, vise à restituer leur répartition. Plusieurs essais sont effectués : un premier avec le détail des espèces indépendamment de leur effectif ; un second avec un degré de lecture plus synthétique (regroupé en sous-famille) et en reprenant les données des deux parois.

Le premier essai présente deux premiers graphiques qui illustrent le déroulé de la paroi de gauche et de droite (Graphique 7). Sur la paroi de gauche, le cheval domine, dès l'amorce du dispositif, et se retrouve ensuite sur la paroi opposée. Cette thématique est importante au début de la grotte, nous notons 7 exemplaires. Ensuite, le bison s'impose par le nombre de représentations, il encadre le dispositif jusqu'à l'étranglement. À partir du mètre 15, il est omniprésent sur la paroi de gauche avec 3 exemplaires minimum par section de 50 cm. Mis à part ces deux figures, les autres spécimens sont moins représentés. Ces deux espèces paraissent se partager l'espace en termes d'effectif et de position. La zone autour du Grand Panneau peint est le secteur où l'on retrouve le plus de diversité d'espèces qui s'organise autour des bisons. La paroi de droite présente également une diversité d'espèces, mais les bisons ne sont pas aussi dominants que sur la paroi de gauche.

Un second niveau de lecture plus synthétique a été réalisé (Graphique 8). Cette fois les résultats des requêtes, de la paroi gauche et de la droite, ont été croisés pour rendre compte des espèces présentes le long du cheminement. Avec ce graphique, nous distinguons une nouvelle fois les bovidés et les équidés. Ce graphique permet également de constater l'arrivée des animaux indéterminés de manière éparse dans le dispositif. Dans cette synthèse, le pic graphique est également plus présent. La majorité des espèces se retrouvent autour du mètre 23 avec plus d'intensité et de diversité.

Ces représentations graphiques permettent de résumer l'information sans pour autant occulter la spécificité de l'arrivée des espèces ou famille dans le dispositif. Dans cette première partie de la grotte, nous observons que la figure du bison domine par son ampleur et sa récurrence d'apparition dans le dispositif. Ensuite c'est la figure du cheval qui apparaît, surtout présente au début du dispositif. Enfin les espèces plus rares ou secondaires s'inscrivent plus discrètement aux côtés de ces thématiques. Elles sont rarement isolées et s'intègrent aux ensembles graphiques.

Ces représentations spatiales s'adaptent à la forme des grottes couloirs, elles affichent une distribution des thématiques tout le long du dispositif. Elles présentent aussi l'avantage de prendre en compte les positions réelles et métriques des figures ainsi que les longueurs des parois.



3.5.3.3. - Impact de la topographie dans la réalisation

Les analyses menées exposent, avec précision, certaines zones de la grotte. Les panneaux sont à la fois localisés et apparaissent très concentrés en figures. En l'état actuel, nous disposons d'une vision « finale » de la grotte et les panneaux semblent positionnés en continuité dans cette première partie. Cette configuration soulève néanmoins la question de la présence de biais conservatoires, de l'état d'élaboration progressif ou d'une construction d'ensemble voir planifier des figures. Aussi nous pouvons nous demander si la morphologie de la paroi a influencé le déploiement des figures, si cette distribution est la conséquence d'une conservation différentielle ou s'il s'agit d'un choix graphique volontaire. Pour étudier cette question, nous nous intéressons à la morphologie et à la régularité des surfaces afin d'observer si le relief est un critère dans l'élaboration de la répartition graphique.

L'identification des surfaces utilisées est relativement complexe en art préhistorique. Une quantité de critères sont à prendre en compte pour évaluer l'état de surface : le grain, la dureté de la paroi, le nombre d'aspérités, la convexité, la couleur ou encore la rugosité. Ce sont des éléments qui mériteraient une étude avancée des propriétés de ce support. Pour des questions de temps et de compétences, nous nous sommes attachés essentiellement aux aspects morphologiques et volumétriques. Pour réaliser ces analyses, nous avons mobilisé le scan 3D et avons effectué des analyses de surface afin de mettre en avant certaines particularités de la paroi. Par ces observations, nous avons cherché à comprendre comment les entités s'inscrivent dans ces volumes et si leur localisation est liée à une morphologie particulière de la paroi. L'objectif est alors de mieux décrire les conséquences du miroir de faille dans les formes des parois.

Les parois de droite et gauche sont traitées séparément, pour chaque paroi, trois types d'analyses sont effectuées :

- **le modèle numérique de terrain sur l'axe** (y). Le MNT est utilisé pour étudier les effets de profondeur et les variations topographiques. Il est réalisé avec la visualisation des normales.
- **la rugosité** (le relief global et les principales aspérités). Ce calcul est effectué sur chaque point, la valeur est estimée à distance égale, entre le point et le meilleur plan d'ajustement de ces visions les plus proches.
- **la verticalité** (sujet de la verticalité des surfaces). Analyse la platitude d'une surface dans un rayon donné.

Ces analyses sont créées sous CloudCompare. Dans un souci d'objectivité, elles sont, dans chaque cas, calculées avec un rayon différent (0,02 m, 0,5 m, 1 m).

Le modèle numérique de terrain sur la valeur (y) montre des changements importants dans le relief (Annexe 8.1). Ces observations se précisent quand la paroi est découpée en plusieurs tranches (Annexe 8.2). Trois zones se distinguent assez nettement : une zone avancée qui se localise sur la partie supérieure ; une zone inférieure nettement plus reculée et une zone intermédiaire qui présente un pendage reliant ces deux parties entre elles.

L'analyse de la régularité met en avant la présence de petites niches ainsi que l'aspect érodé du bas de la zone supérieure avant le passage à la zone intermédiaire (Annexe 8.3). La visualisation de la verticalité de la paroi notamment dans un rayon de recherche (0,02 mm) renvoie également à trois types de zones : une zone supérieure relativement plate ; une zone intermédiaire caractérisée par un pendage et la présence de niches ; une zone basse où la rugosité est très importante (Annexe 8.3).

Enfin, l'analyse de la verticalité, déjà observée, confirme ces différences entre zones : la zone supérieure est plane, la zone intermédiaire est caractérisée par un effet concave et la zone inférieure est moins concave, mais très marquée par des irrégularités (Annexe 8.4).

En confrontant ces trois analyses et en les complétant par l'observation de terrain, nous distinguons trois zones hétérogènes sur le plan de la régularité, de la rugosité et de la verticalité (Figure 55 ; Annexe 8.6). Nous retrouvons alors un découpage en trois types de zones qui a déjà été identifié par les préhistoriens (Plénier, 1972 ; Vialou, 1986 ; Foucher, 1991 ; Fritz et Tosello, 2005).

- **la surface du registre supérieur**, la surface est parfaitement plane et homogène.
- **la surface d'un registre intermédiaire**, cette surface est une liaison entre les deux parties. Elle présente une forme concave relayant les deux registres, mais la surface reste relativement lisse.
- **la surface du registre inférieur**, c'est la surface présentant le plus d'irrégularités et de dépressions, elle comprend également les alcôves et des résurgences.

Les différences morphologiques de paroi s'observent très nettement sur le terrain, nous pouvons désormais questionner l'utilisation de ces zones pour les représentations paléolithiques.

Pour réaliser ce travail, nous avons délimité manuellement ces trois zones sur le modèle 3D que nous avons importé en multipatch dans le SIG 3D, selon la méthode déjà décrite. Ces zones ont fait l'objet d'une requête spatiale afin de comptabiliser le nombre de figures contenues chacune de ces zones.

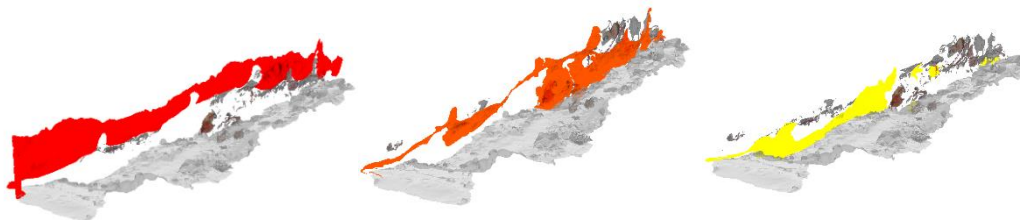


Figure 55 – Localisation des zones sur la paroi gauche : zone 1, zone 2, zone 3. (Vue à partir de la paroi de droite en direction du fond de la grotte)

Les résultats font apparaître des répartitions différentes des entités graphiques sur ces zones :

- La zone 1, le registre supérieur, occupe 46 m² soit 41 % de la surface totale. Elle est plane avec peu d'aspérités. Elle est modérément investie, elle comporte 51 entités soit 18 % des figures (Tableau 8).
- La zone 2, le registre intermédiaire, s'étend sur 47 m² soit 42 % de la surface totale. C'est la zone qui dans la configuration actuelle est la plus accessible en position debout. Elle est la plus ornée avec 221 entités soit avec 80 % des figures. La zone 2 a donc été privilégiée, la zone où les changements de volume sont les plus importants.
- La zone 3, le registre inférieur, représente 18 m² et 16 % de la surface totale. La paroi est rugueuse et proche de l'entrée actuelle. Elle est sous-investie, avec 4 entités soit 1 % des entités totales.

Les résultats ne montrent pas un lien entre la figuration des entités et la topographie. De nombreuses entités se retrouvent surtout dans le registre intermédiaire où les volumes et les irrégularités de surface sont présents. Cette multitude d'entités, dans cette zone, pourrait être liée à son accessibilité. La zone supérieure, plane, n'a pas fait l'objet d'un surinvestissement particulier. Et à ce stade de l'analyse, la zone de sélection pour la figuration des entités ne semble pas associée au support.

| Paroi de gauche | Nombre entités | | Surface de ces zones | |
|-----------------|----------------|------|----------------------|------|
| 1 | 51 | 18% | 46,61 | 41% |
| 2 | 221 | 80% | 47,62 | 42% |
| 3 | 4 | 1% | 18,17 | 16% |
| Total | 276 | 100% | 112,40 | 100% |

Tableau 8 – Répartition des entités par zones (paroi gauche).

Le même protocole a été appliqué pour la paroi de droite. Cependant, elle reste plus complexe à appréhender, avec la même méthode - nous pouvons l'observer sur le modèle numérique de terrain (Annexe 8.7). Pour cette paroi, nous avons distingué deux zones (Figure 56) :

- La zone 1 est caractérisée par des zones plus reculées qui se matérialisent par un enfoncement dans la partie droite juste après l'entrée de la grotte. Le MNT nous amène à sélectionner, quelques mètres après la porte, une zone dont le plafond est bas. Cette zone est aujourd'hui accessible en position allongée, elle est en retrait de quelques mètres de la paroi. Elle occupe 18 % de l'espace et comptabilise deux figures. Seules les traces de colorants et une « figure féminine » sont réalisées en retrait du regard (Fritz et al., 2019). À proximité de l'étranglement, nous constatons également une zone de retrait de la paroi, montrant des variations de profondeur, qui nous amène également à l'intégrer dans la zone 1.
- La zone 2, générale est plus accessible. La paroi est visible dans le cheminement, elle s'apparente à la zone 3 décrite pour la paroi de gauche. Issue d'un miroir de faille, la paroi se dessine quelques fois en feuillets. Elle est aujourd'hui très accidentée avec de nombreuses chutes de blocs. La zone 2, qui comprend le reste, présente l'essentiel des entités.

Le modèle numérique de la paroi fait état de jeux de volumes et de retraits qui ont quelquefois attiré l'attention des préhistoriques, mais permettent néanmoins de différencier les deux zones (Figure 56, Annexe 8.8).

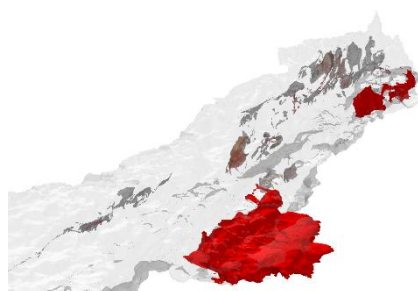


Figure 56 – Localisation de la zone 1. (Vue à partir de la paroi de droite en direction du fond de la grotte)

Cette première lecture de la paroi montre des tendances de groupement des figures dans les registres intermédiaires. Dans le cas de la paroi de gauche, le registre supérieur, qui présente une surface plane, n'a pas pour autant été sélectionné. Nous relevons également que le registre intermédiaire qui présente, pourtant un grand nombre d'irrégularités, a été surinvesti.

À ce niveau d'échelle, il n'est pas possible de constater une éventuelle stratégie ou sélection particulière des types de surface. Mis à part deux entités volontairement placées sous le regard dans la zone 1 de la paroi de droite, le reste des entités pour les deux parois sont visibles.

Afin de préciser cette vision, nous complétons certains constats par des observations plus détaillées tirées du Modèle 3D texturé.

La visualisation des normales permet d'observer les intégrations des figures sur les éléments de reliefs de manière macroscopique.

Nous remarquons, en premier lieu, de nombreux exemples d'utilisation de cadres graphiques. Ces limites naturelles peuvent avoir servi de points d'appui pour des réalisations. Une arrête a été utilisée pour apposer le chanfrein du bison (Figure 57), c'est aussi la réalisation d'un signe barbelé dans une alcôve (Annexes 9.1). Il est possible de multiplier les exemples de ces points d'appui sur le relief.

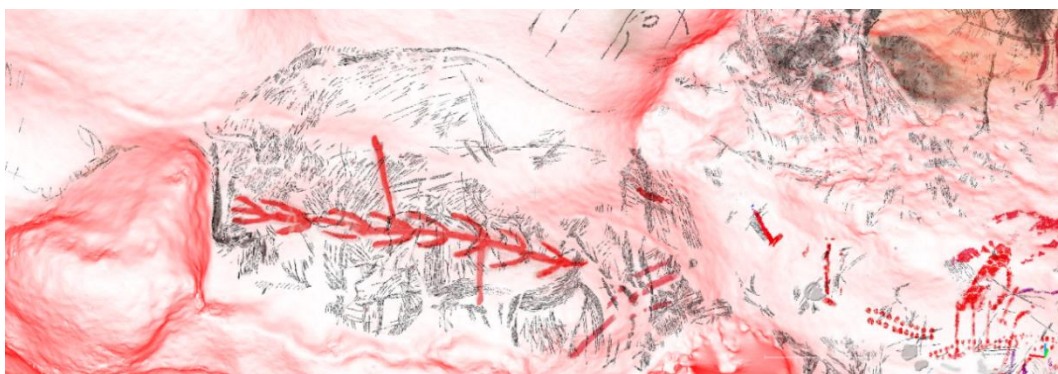


Figure 57 – Le chanfrein du bison est dessiné le long d'une dépression. La figure a été bien calibrée entre deux irrégularités, Mesh texturé M.Willis et G.Tosello.

Cependant sur la même paroi, à quelques mètres, sur le registre supérieur (zone 1 de la paroi gauche), nous observons une absence de volume. Le bison gravé-peint orangé, l'une des figures les plus larges et la plus visible de la cavité est réalisée sur une surface parfaitement plane (Figure 58). Un bison ponctué en noir lui fait face, réalisé sur la même zone, seul le chanfrein a servi de limite pour intégrer la figure. Ces deux bisons paraissent en réalité se faire face, encadrés par le bison ponctué, lui-même inséré dans une dépression (Annexe 9.2). Toujours sur la paroi de gauche, dans l'utilisation du registre supérieur, nous identifions une alternance d'utilisation pour des figures de tailles comparables : une zone concave intermédiaire du registre 3 et une utilisation de zones planes du registre 1.

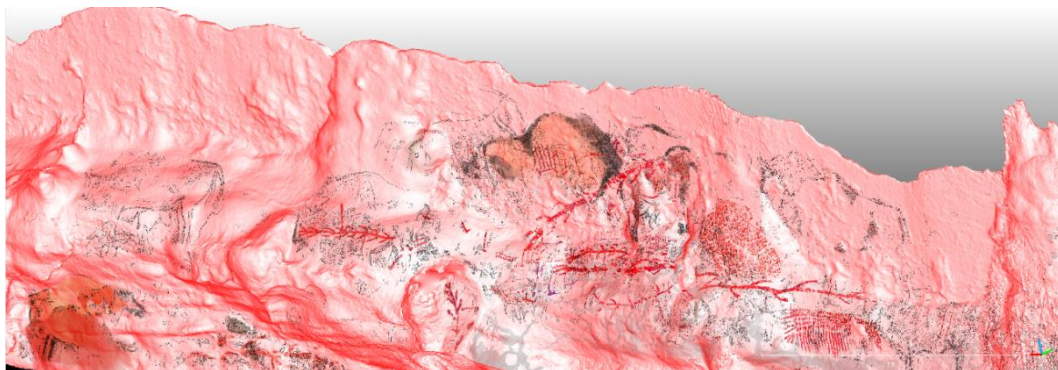


Figure 58 – Le registre supérieur présente des zones vides et des zones investies. M.Willis et G.Tosello, 2020.

Ces jeux de reliefs s'observent également pour les deux panneaux principaux de la paroi de droite. Ils sont également investis différemment : le premier panneau, malgré les volumes disponibles, ne présente aucune utilisation de relief (Annexe 9.3) ; le second panneau montre au contraire l'utilisation de deux avancées rocheuses (Annexe 9.4). Les entités ont dans ce cas bénéficié d'un cadre graphique.

Ces observations nous amènent à formuler le constat suivant : les parois avec un relief particulier ne sont pas forcément utilisées pour la pose des figures. L'utilisation du relief apparaît situationnelle et opportuniste, n'est pas systématique, et ne semble en rien conditionner la mise en place du dispositif pour la grotte de Marsoulas. Certaines zones présentent des morphologies particulières, parfois retenues ; c'est le cas du bison ponctué qui est la figure emblématique de la grotte – elle est insérée dans une dépression qui crée un véritable cadre graphique, car d'autres entités paraissent se construire autour d'elle (Annexe 9.2) « *On comprend que les artistes préhistoriques aient été attirés par la planéité exceptionnelle du panneau, ses suggestions naturelles ; en revanche, on devine qu'ils ne furent guère séduits par la médiocre qualité de la roche. Dans l'ensemble, le calcaire est irrégulier, granuleux, parsemé de fossiles en relief et d'encroûtements de sédiment induré, tous inconvenients qui compliquent d'autant le travail du peintre et du graveur* » (Fritz et Tosello, 2014, p.74). Nous pouvons alors faire l'hypothèse que cet emplacement est délibéré et devient le point de départ du projet graphique. Ces observations et constats résultent du travail de relevés, menés dans la première partie de la grotte (Fritz et Tosello, 2004 ; 2010 ; 2014 ; 2019).

La composition graphique globale renforce la mise en valeur du bison et non uniquement l'utilisation du relief. Si des aspérités ou des arêtes sont ponctuellement utilisées pour souligner certaines figures, il ne s'agit pas là d'un comportement systématique, car une large majorité de figures ne prennent pas appui sur les volumes de la paroi. L'utilisation du relief semble ainsi répondre à une logique d'harmonie et de recherche d'esthétisme plus qu'à un élément déterminant leur mise en place.

Nos observations tendent à nuancer l'importance du support. La morphologie générale d'une paroi est par essence accidentée, faite de contraintes et d'opportunités. Les préhistoriques ont donc composé avec ces contraintes ; ils choisissent, parfois, de s'en saisir. L'utilisation de ces morphologies apparaît en réalité trop libre voir opportuniste pour influencer sur la répartition ornementale des figures de la grotte de Marsoulas.

3.6. - Modéliser la temporalité relative sur une paroi ornée

3.6.1. - Les superpositions pariétales de la grotte de Marsoulas

L'un des enjeux principaux de l'étude de Marsoulas est de modéliser la stratigraphie de la paroi de la grotte, pour proposer une lecture de son occupation. En effet, si le principe de la stratigraphie archéologique s'applique au niveau du sol pour comprendre les successions des faits, on peut également mettre en œuvre ce principe pour étudier les superpositions sur les parois. L'étude ne s'effectue plus sur le principe de la stratigraphie horizontale pour mettre à jour les vestiges archéologiques, leur contenu, leur succession, mais sur un plan vertical, celle de la paroi, pour restituer les superpositions des entités graphiques et les séquences chronologiques de l'occupation de la grotte.

Les entités graphiques sont matérialisées par des zones de recouvrement de tracés, elles permettent d'identifier la mise en place des figures à partir de la paroi. Elles peuvent résulter de fréquentations intenses, de courtes durées, comme de phases d'occupation successives séparées. Leur période de réalisation peut être espacée de plusieurs millénaires ou de quelques minutes. Elles révèlent alors un âge relatif et non absolu. La superposition démontre une réalisation ultérieure des figures sans pour autant estimer le temps réel qui sépare ces deux figures.

À Marsoulas, la grotte est densément ornée et les superpositions graphiques y sont si nombreuses que l'idée vient à Henri Breuil de les analyser pour restituer la chronologie : « Dès 1902, nous avons essayé de discriminer la succession des styles en nous aidant de la superposition des figures. Cette méthode est en effet facile à appliquer sur le miroir de faille tout à fait lisse de la paroi gauche où sont massées presque toutes les peintures » (Breuil, 1952b, p. 242).

L'un des endroits clefs pour l'observation de ces phénomènes de chevauchement est le « Grand Panneau peint » sur la paroi de gauche (Annexe 6). Ce panneau s'étend du mètre 13 m au 27 m et présente environ 250 figures imbriquées les unes dans les autres. Cette zone graphique est une véritable opportunité pour saisir le processus d'occupation de la grotte (Figure 30). L'étude de ces superpositions est un moyen pour mieux comprendre le positionnement successif des figures dans la grotte et donc de restituer une partie importante du mode de fréquentation.

Son étude devra alors répondre à plusieurs questionnements :

- identifier les figures les plus anciennes et les plus récentes ainsi que les principales tendances dans la disposition ;
- établir des liens de correspondances entre les figures ;
- observer des séquences de superpositions ;

- caractériser les éventuels changements techniques, stylistiques et thématiques ;
- proposer une synthèse de la disposition chronologique des figures ;
- établir si le Grand Panneau peint est un palimpseste au sens manuscrit du terme (remplacement par de nouvelles arrivées graphiques) ou un phénomène de construction à court terme.

3.6.2. - Modéliser la stratigraphie de paroi

3.6.2.1. - La matrice de Harris en art préhistorique

Pour évaluer ces changements temporels, décrire et visualiser au mieux la stratigraphie, il faut s'appuyer sur une méthode d'enregistrement : la matrice de Harris. C'est en 1979, qu'Edward Harris crée cet outil pour restituer les différentes phases d'occupation d'un site archéologique (Harris, 1979). Il offre un cadre systémique et rigoureux pour mettre en évidence les unités stratigraphiques par relation d'antériorité, de supériorité et de contemporanéité (Harris et al., 2017) (Figure 59). L'application nécessite l'enregistrement complet de l'ensemble des unités et des faits archéologiques ainsi que l'application de la loi de la succession stratigraphique¹⁹, cette dernière implique que les redondances entre les relations stratigraphiques peuvent être écartées (Harris et al., 2017). Un diagramme synthétise et ordonne les relations entre les différentes unités archéologiques et stratigraphiques. La matrice de Harris est un outil qui formalise et clarifie les évènements afin de proposer une lecture relative de la chronologie d'un site.

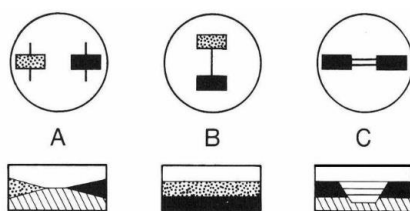


Fig. 9 : Le système de la Matrice de Harris ne reconnaît que trois relations entre les unités de stratification archéologique. (A) Les unités n'ont pas de connexion stratigraphique directe. (B) elles sont superposées ; et (C) les unités sont en corrélation, en tant que parties d'un dépôt ou interface de fait unique à l'origine.

Figure 59 – Principles of Archaeological Stratigraphy (Harris, 1979).

¹⁹ « Loi de superposition : dans une série de couches et de faits d'interface, dans leur état originel, les unités supérieures de la stratification sont plus jeunes, et les unités inférieures sont plus anciennes, car chaque unité a dû être déposée sur, ou créée par le retrait d'une masse préexistante de stratification archéologique. Loi de succession stratigraphique : une unité de stratification archéologique prend sa place dans la séquence stratigraphique d'un site, à partir de sa position, entre l'unité la plus basse (ou la plus ancienne) des unités qui se trouvent au-dessus d'elle, et l'unité la plus haute (ou la plus récente) de toutes les unités qui se trouvent au-dessous d'elle, et avec lesquelles elle est en contact physique, toute autre relation de superposition étant redondante. » (Harris, 1979, p.42)

Cet outil ne permet pas d'appréhender le temps absolu, mais de percevoir par élimination ce qui est ancien : « *Ce temps stratigraphique, exclusivement issu de l'analyse du terrain en unités successives, est d'une part ordonné, mais non quantifié* » (Desachy, 2012, p.2). La matrice est appliquée à l'art rupestre dans les années 1990 (Chippindale et Taçon, 1993 ; Loubser, 1997). Ces travaux appliqués sur les abris de plein air en Australie et Afrique du Sud montrent l'importance de la chronologie relative, dans les comparaisons stratigraphiques inter-sites, entre les abris sous roche, éloignés les uns des autres, mais fréquentés aux mêmes périodes (Russell, 2000 ; Swart, 2004 ; 2006). L'application du diagramme de Harris à l'étude des parois s'appuie alors sur les superpositions de figures et sur l'analyse des changements graphiques pour identifier des périodes.

L'apport d'un tel diagramme clarifie les relations stratigraphiques et ouvre une discussion sur les structures d'un ensemble graphique afin de poser des bornes chronologiques (Loubser, 1997). Le diagramme est donc une construction systématique qui rend compte d'une vision complète de l'arrivée d'évènements et de leurs relations pour mettre en évidence des phases chronologiques relatives. Sans possibilité de datation directe, ce diagramme de Harris est une alternative fréquemment utilisée en art rupestre pour observer les phases de fréquentation d'un lieu, par des groupes différents.

Pour parvenir à restituer la chronologie relative de la paroi, il faut établir des liens de correspondance entre les sous-ensembles superposés. Dans l'archéologie au sol, le repérage des liens de contemporanéité s'effectue par un examen d'enregistrement des séquences et la présence de fossiles directeurs. En art pariétal, sans la possibilité de datation directe ou d'analyse de pigments, la liaison des relations d'équivalence paraît moins évidente : « *of the problems facing rock art researchers using the Harris matrix is how to join the superpositional schemes from different areas of a panel and a shelter into a master sequence...* » (Russell, 1997, p.16). Avec les matrices appliquées aux abris rupestres, l'établissement des relations de contemporanéité entre entités graphiques diverge selon les auteurs (Pearce, 2006 ; 2010 ; Russell, 2012). Dans le cadre des abris sous roche, les thématiques, les techniques, les tailles sont parfois utilisées pour grouper certaines séquences (Russell, 2000 ; 2012²⁰). Cependant, il est démontré que les critères techniques (gravure, peinture), les thématiques ou la couleur ne sont pas des éléments fiables pour établir une correspondance (Gun, 2010). Cela est d'autant plus vrai pour l'art préhistorique qui

²⁰ L'établissement des liens de contemporanéité entre abris sous roche ainsi que les critères retenus par les auteurs ont entraîné des polémiques. (Swart, 2004 ; 2006 ; Pearce, 2006 ; 2010 ; Le Quellec, 2007).

présente des techniques diverses dans un même ensemble. Les thématiques animales, bien que, soumises à des variations selon les périodes et les régions, ne peuvent pas servir de critères pour établir des liens entre les séquences (Bégoüen et Clottes, 1987). Les changements techniques, la couleur, le style, le traitement formel, les thématiques, les tracés graphiques restent des critères aléatoires qui ne peuvent pas traduire un réel changement de phases. La recherche « d'horizon culturel » doit tenir compte de la présence de multiples critères de convergence. L'identification d'une phase ornementale peut être établie par plusieurs types d'éléments : la technique, la couleur, le degré de conservation, la proximité ou l'intégration de ces figures au sein d'une même composition, la récurrence de certains types de signes, la présence d'éléments formels typiques et préalablement datés (Fritz et Tosello, 2007 ; Pinçon, 2008a ; Le Quellec, 2014 ; Harris, 2017). Seule la combinaison récurrente de ces éléments peut être un indice interprétatif pour proposer des rassemblements séquentiels entre les figures. L'établissement d'un lien de contemporanéité résulte alors d'une interprétation et non d'une liaison absolue. Sans datation directe, la tâche entraîne une part de subjectivité qui peut être compensée par une analyse rigoureuse et individuelle de chaque figure et complétée par une étude technologique ou expérimentale. La validité de ce processus de restitution d'horizon culturel repose sur l'expérience de l'archéologue. Edward Harris propose le terme d'« abduction » par opposition à une démarche déductive pour désigner le résultat : « *Abduction, unlike deduction, does not assure the conclusion but provides the basis of a hypothesis derived from a largely intuitive reading of the facts, and its validity is arrived at, in part, through the experience of the investigator in that field* » (Sebeok & Sebeok 1981, cité par Harris, 2017). À l'image de ce développement, la matrice de Harris se retrouve également employée en histoire de l'art pour comprendre les processus de restauration et technique de mise en place de la couleur par les peintres (García, 2004). Certains auteurs l'ont également appliquée en grotte en liaison avec la paroi et la stratigraphie au sol (Gheco et al., 2017).

3.6.2.2. - Limites du diagramme appliqué au « *Grand Panneau peint* »

La matrice de Harris est alors une étape indispensable pour formaliser le raisonnement archéologique et ordonner le processus de mise en place des figures sur la paroi. À Marsoulas, un diagramme a été réalisé afin d'observer les superpositions. L'analyse des superpositions s'effectue sur le terrain directement sur la paroi. Le diagramme est conçu par Carole Fritz, sur environ 141 entités dans la zone du Grand Panneau. Ce qui représente 70 % des entités du panneau, cette matrice

devrait se prolonger dans les années à venir. La stratigraphie réalisée sur *Harris Matrix Composer* montre un premier diagramme (Figure 60).

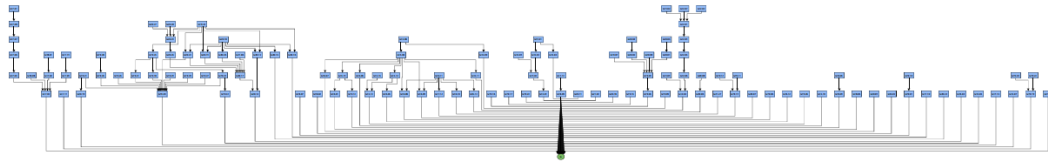


Figure 60 – Visualisation du diagramme du Grand Panneau réalisé sur 141 entités graphiques, C.Fritz.

La modélisation du diagramme en unités stratigraphiques est un document qui en l'état est déconnecté des positions réelles et physiques des entités graphiques. La quantité de figures permet certes de dégager une vision séquentielle, mais il reste difficile d'identifier de quelle entité il s'agit (Figure 60). C'est pourquoi les auteurs sont amenés à repositionner la matrice avec le relevé (Russell, 2000 ; Pearce, 2006 ; 2010 ; Harris and Guun, 2017). Le résultat des superpositions est plus facile à percevoir et mieux mis en valeur (Figure 61). Dans ce relevé d'art rupestre, les figures sont détournées en couleur pour montrer les états de superpositions. La vision en 2D limite la compréhension de ces successions.

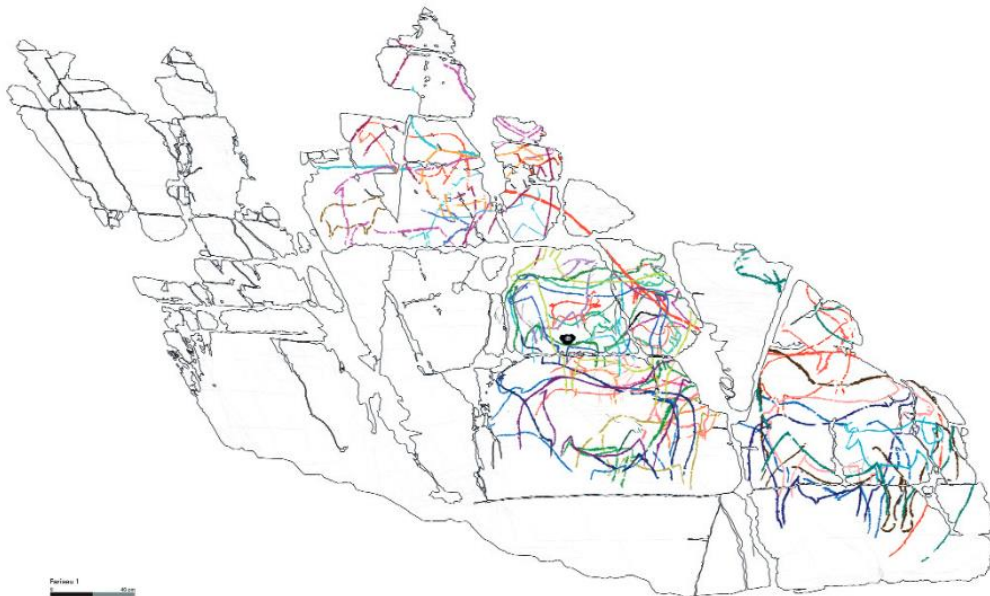


Figure 6 - Figures du panneau qui sont recouvertes par l'unité stratigraphique 7 ou sous-jacentes dans la matrice (cf. fig. 3) (relevé Fernando Barbosa in Baptista 2009).

Figure 61 – Matrice de Harris associée au relevé graphique (Aubry, 2014).

La paroi de Marsoulas est relativement complexe, car elle s'étale sur plusieurs mètres et présente un grand nombre de superpositions. L'intérêt est alors de pouvoir disposer d'une part de la chronologie relative, mais également de disposer de l'ensemble des informations rattachées à chaque entité graphique afin de croiser

aisément les paramètres de superpositions thématiques, techniques, afin de vérifier dans quelle logique ces entités se distribuent.

Thembi Russell dans un article, imaginait déjà le SIG comme une réponse à la visualisation chronologique des peintures : « *The strength of GIS is that it allows for the analysis of multiple layers of evidence in both the horizontal and vertical dimensions. This is particularly useful for archaeologists, who are often working with patchy data.* » (Russell, 2012, p.43). Le processus du SIG vise alors à permettre une visualisation horizontale, mais aussi verticale de l'information. Les résultats de la matrice pourront alors être intégrés de manière directe au SIG de la grotte afin de proposer une lecture plus claire et successive de ces superpositions. Ce processus de visualisation de la matrice en cartographie peut offrir un cadre de visualisation optimal pour mieux assimiler l'information.

3.6.3. - Visualisation des premières séquences sous ArcScène

Le panel initial comprend 141 entités qui renvoie à la première partie du Grand Panneau peint (Figure 30). Dans Harris matrix composer, le résultat de la matrice a pu être extrait en fichier .csv. Ce fichier comprend alors le nom de l'entité associé à son rang d'apparition à partir de la paroi. Il est intégré directement au SIG grâce à une jointure attributaire.

Le SIG en 2,5D, est la deuxième méthode sélectionnée, car elle permet de décomposer les séquences d'apparition grâce au processus d'extrusion. Cette étape nous permettra de simuler plus facilement le processus d'arrivée des figures sur la paroi qui peuvent nous amener de nouveaux éléments de réflexion. Le résultat des séquences graphiques a été intégré par une jointure attributaire à la couche vectorielle des entités graphiques. Ainsi, une nouvelle couche de chaque phase est créée de 1 à 6.

La phase 1 correspond aux premières figures en contact direct avec la paroi ; la phase 6 au sixième niveau de superposition. Les dessins en phase 1 qui ne présentent pas de superpositions et sont retirés, ramenant le nombre initial de 58 figures, dans la phase 1, à 39. Les graffiti modernes sont également enlevés de l'étude, car ils arrivaient obligatoirement à la fin.

Dans cette première restitution, les liens de contemporanéité ne sont pas établis, ce qui explique la diversité de figures se trouvant dans chaque phase (Figure 62). Plus les séquences se succèdent plus les figures se raréfient. Néanmoins il est possible d'observer des tendances, dans la distribution et dans les formes récurrentes des superpositions.

Plusieurs informations peuvent être déduites et modélisées. Premièrement, il est possible d'aborder cette succession des séquences par le prisme des thématiques. Cette démarche permet d'identifier les premières et dernières mises en place de chaque séquence thématique. Ce paramètre pris seul n'a pas de valeur chronologique en soi, car les thèmes du Paléolithique restent cependant stables dans le temps long. Il est également possible d'extraire individuellement l'information et d'observer quels types d'entités arrivent à quel moment. L'objectif est de dégager des tendances dans l'apparition des thématiques (Graphique 9). Nous notons l'importante des bovidés. Ce sont des figures récurrentes et observables sur l'ensemble des séquences (1, 2, 3, 4, 5, 6). Les capridés sont nombreux dans les premières séquences puis se raréfient. Les équidés et animaux indéterminés apparaissent également dans les premières séquences. Les signes et les entités indéterminés sont majoritaires à partir de la seconde séquence. Les cervidés ne sont pas visibles dans la première séquence, mais apparaissent par la suite.

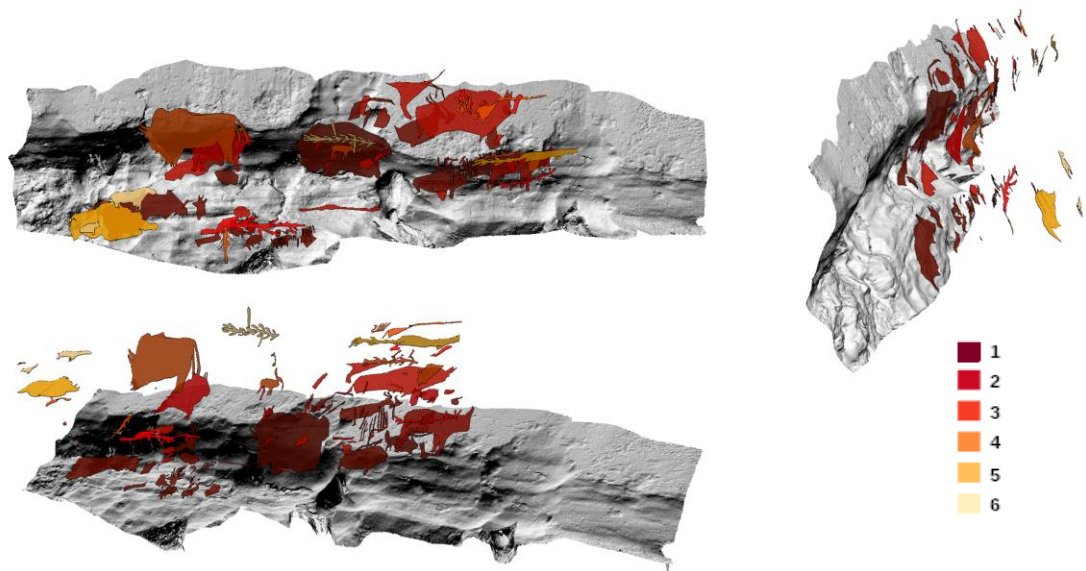
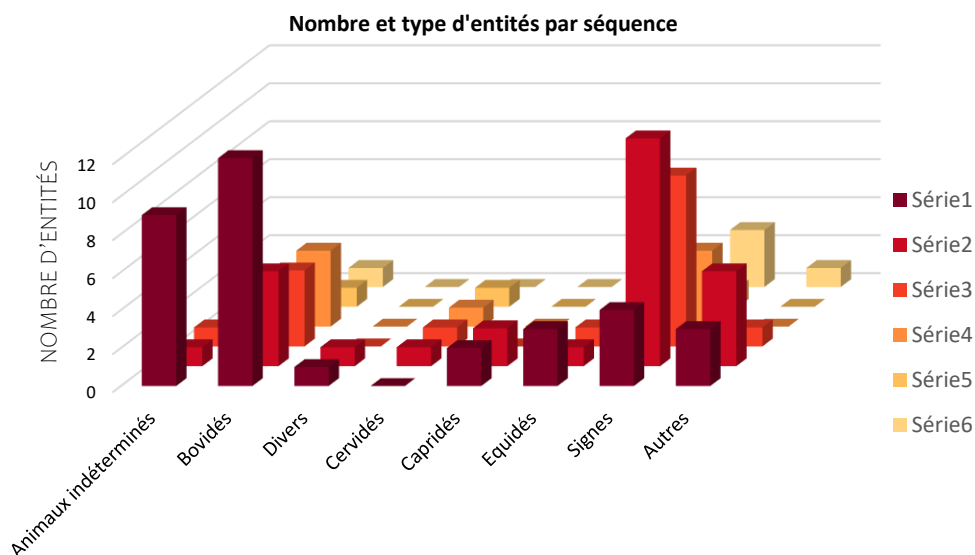


Figure 62 – Vue en 2,5D décomposée par arrivée sur la paroi sous d’ArcScene (ESRI). Les phases s’étendent de 1 à 6 (sans les graffiti) à partir de la paroi, avant le retrait des figures isolées, L.Louman.



Graphique 9 – Séquence matricielle par thématique (Phase de 1 à 6).

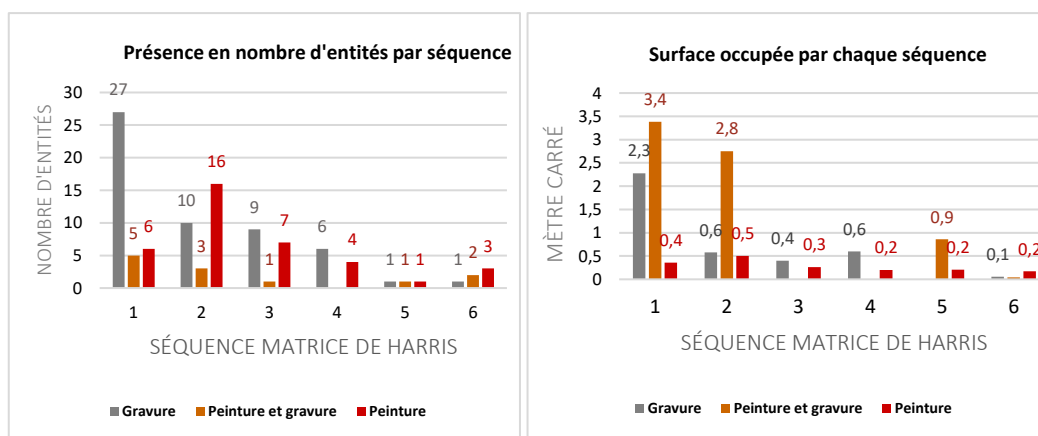
Les bovidés sont omniprésents, cette thématique se retrouve dans chaque séquence. Ensuite deux tendances de distribution se dégagent : les figures animales dans un premier temps puis les signes et les autres entités.

Cette visualisation des séquences a également pu être réalisée par le prisme des techniques de réalisation (gravure, peinture, la combinaison des deux). L'objectif est de repérer des changements techniques. Pour identifier ces éventuelles modifications, nous avons réalisé deux graphiques : le premier s'appuie sur le nombre d'entités, le second sur l'espace total en m² occupé par une technique (Graphique 10).

Sur le premier graphique, à partir du nombre d'entités, nous constatons que ce sont les gravures qui dominent dans séquence 1 à la différence des peintures et des figures peintes et gravées qui restent relativement absentes. Dans la séquence 2, cette tendance s'inverse : les peintures sont majoritaires avec 16 entités et 10 pour les gravures ; le nombre de peintures/gravures reste relativement bas. Dans la séquence 3, le nombre de gravures est supérieur aux peintures. La séquence 4 présente 6 gravures et 4 peintures et aucune peinture-gravure. Les trois méthodes sont présentes avec le même nombre d'entités chacune. Les peintures sont plus importantes dans la dernière séquence.

Le second graphique modélise la surface occupée par chaque séquence. Nous remarquons que les peintures-gravures ne sont pas présentes sur l'ensemble des séquences, ce sont les figures les plus grandes dans les 2 premières séquences (Graphique 10, Graphique 10), elles disparaissent sur les séquences (3, 4, 6) et dominent dans la séquence 5. Les gravures se retrouvent majoritairement dans la première séquence. À partir de la séquence 2, elles apparaîtront régulièrement

jusqu'à la séquence 4. Elles sont absentes de la séquence 5 et 6. Les peintures sont présentes équitablement dans chaque séquence de 1 à 6.



Graphique 10 – Techniques utilisées par séquences (fréquences) / Graphique 11 – Techniques utilisées par séquences (surfaces m²).

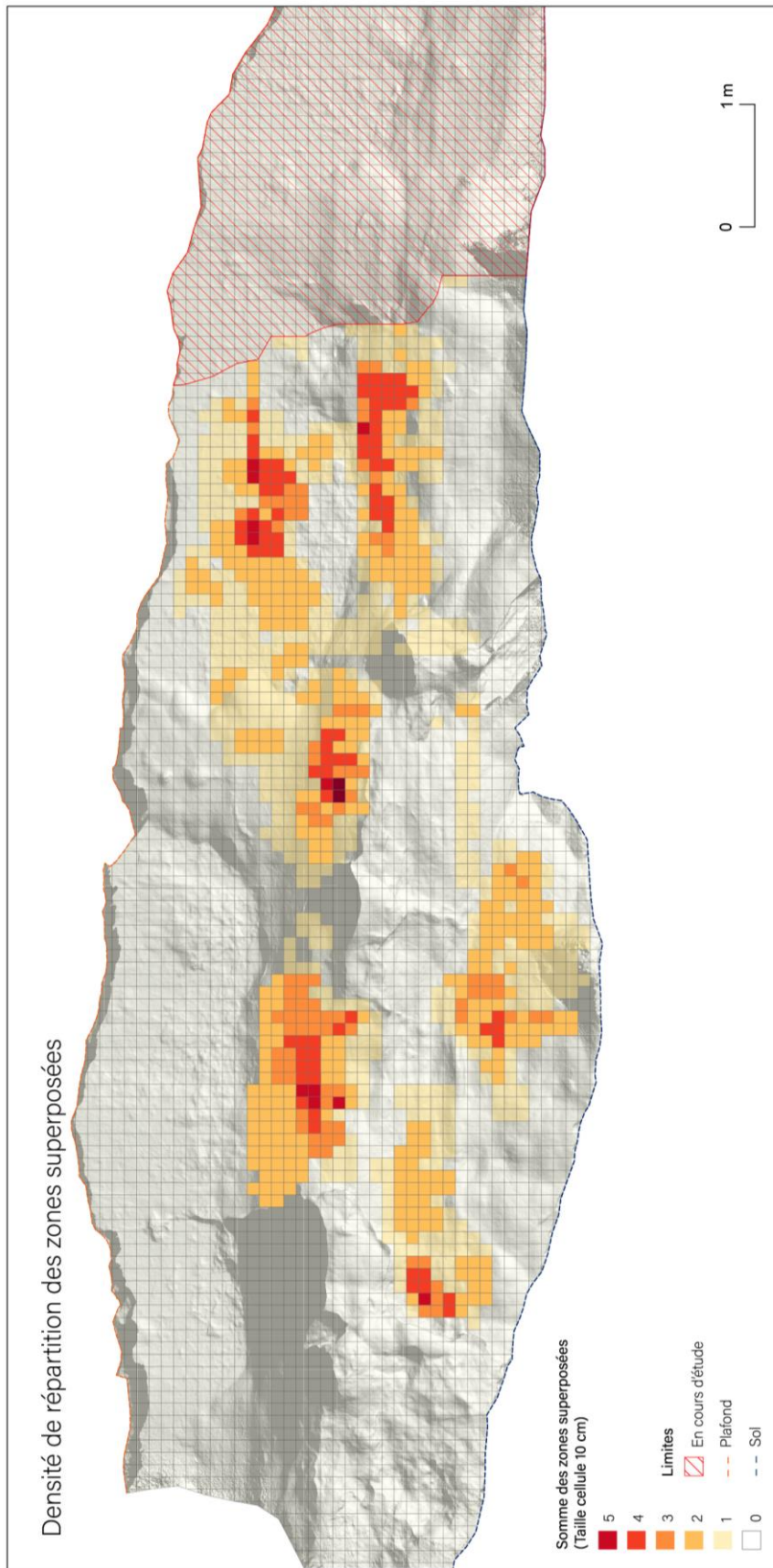
Cette première modélisation révèle quelques tendances : l'omniprésence des bovidés dans les séquences. Il n'y a pas à proprement parlé de tendances visibles dans cette distribution si ce n'est l'arrivée postérieure des cervidés et des signes rouges dans un second temps. Les gravures-peintures sont rares, elles apparaissent majoritairement dans les premières séquences et dominant largement l'espace des représentations en termes de m² occupés. Les peintures sont également présentes en nombre d'entités à partir de la séquence 2, elles correspondent à la présence des signes. Les figures peintes et gravées marquent les premières séquences par leur impact graphique important alors qu'elles sont faibles en effectif. Par la suite on assiste à la fois à une diversification des thématiques, mais également par l'arrivée des signes rouges qui viennent ainsi s'associer à ces éléments de composition.

3.6.3.1. - Localisation des zones des densités ornementales

L'un des enjeux du développement d'un SIG vertical est de mettre en évidence l'existence de zones de recouvrement au sein du panneau. Nous avons précisé cette analyse en créant des cartes de densité qui modélisent et dégagent les zones de recouvrement graphique. Et à partir de ce séquençage, nous avons également cherché à préciser les zones densément ornées en étudiant la somme des zones superposées (Carte 6). Pour réaliser ces cartes, la paroi a été divisée par un quadrillage de cellules de 10 x 10 cm et la présence de chaque entité, dans ces zones, a pu être quantifiée. Le résultat du cumul des zones vectorielles, nous a permis de localiser les zones où le recouvrement était le plus présent. L'analyse des cartes fait apparaître cinq phases de recouvrement. Les éléments de densité se retrouvent très localisés au centre de chaque sous-ensemble. Des zones très polarisées apparaissent selon des procédés très similaires : très peu de superpositions jusqu'à des zones

fortement recouvertes. Le nombre de séquences le plus important se retrouve à l'extrémité gauche. Globalement les répartitions sont constantes autour de 4-5 zones de superposition dans chacun des sous-ensembles. Ces sous-ensembles se retrouvent au nombre de 7, formant alors des séquences de superpositions individuelles. Bien que le secteur droit soit surreprésenté, en termes de superposition, on constate qu'aucun sous-ensemble n'est ignoré. Les zones se retrouvent équitablement investies, la distribution est organisée dans chacune des zones du panneau avec une intensification des manifestations à droite²¹. Les figures les plus récentes se regroupent autour d'entités de plus grande envergure et donnent un effet de polarisation. La présence de sous-ensemble paraît ainsi fonctionner en autonomie. À travers ce panneau, on observe des effets de recouvrement assez systématiques et bien répartis dans chaque sous-ensemble. Ce type de carte de densité offre l'avantage de mettre en relief la répartition des entités et les zones d'interfaces de recouvrement et apporte de nouveaux éléments indépendamment, de la forme des entités. Cette cartographie renforce la présence des figures peintes gravées de bisons qui encadrent véritablement l'ensemble. Des gravures de tailles plus modestes ainsi que les signes peints vont se retrouver dans ces figures d'encadrement. Ce procédé se retrouve à plusieurs reprises sur ce panneau.

²¹ La zone droite figure au centre d'un ensemble plus large qui se poursuit quelques mètres vers la droite.



Carte 6 – Densité des superpositions avec la méthode des quadras, L.Louman.

3.6.3.2. - Carte des signes

Dans les premières modélisations de la matrice, les signes apparaissent en grand nombre, à partir de la seconde et la troisième séquence. Ils arrivent majoritairement sous d'autres figures, pour préciser ce phénomène, nous avons réalisé une carte des séquences qui présente les niveaux et la localisation des signes. Nous constatons qu'ils arrivent fréquemment sur des figures animales (Carte 7). Les seules figures recouvertes par les signes peints en rouge se trouvent être des signes peints en rouges. Bien que certains arrivent ainsi en séquence 1, ils ne sont aucunement recouverts par d'autres gravures, mais bien par d'autres signes.

Néanmoins, un contre-exemple vient infirmer cette généralité, une figure gravée, la figure « G20-05 » vient recouvrir un signe. Cet arrière-train gravé recoupe le haut d'un « signe en t inversé » peint en rouge. Il s'agit de l'unique exemple pour la zone du Grand Panneau Peint.

Les signes sont l'un des marqueurs les plus importants de la chronologie relative, positionnés en dernier, ils viennent clore chacune des séquences. Ils présentent, par ailleurs, des caractéristiques communes dans la technique, la couleur, la thématique et apparaissent comme un ensemble homogène.

3.6.4. - Vers la recherche de lien de contemporanéité

3.6.4.1. - Les tics de réalisation

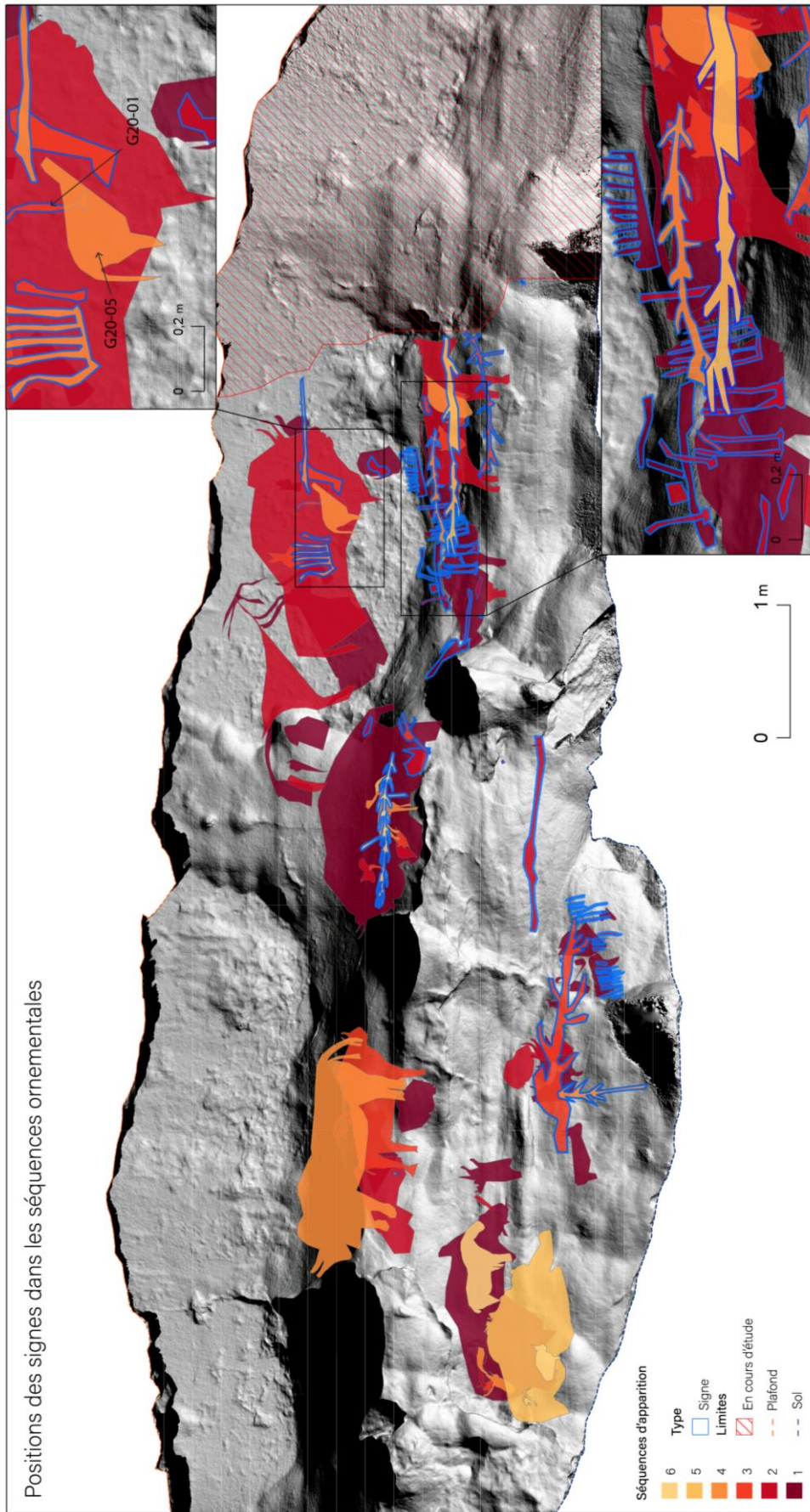
La matrice de Harris réalisée nous permet d'observer la distribution chronologique globale. Ces premiers résultats montrent les signes comme un ensemble homogène, positionné dans chaque cas à la fin des séquences. Cette tendance est observée sans établir des liens de contemporanéité.

Contrairement à la matrice de Harris au sol, les unités archéologiques ne sont pas scellées dans des couches stratigraphiques. C'est une difficulté majeure pour appliquer la matrice de Harris en paroi, car la succession de superpositions, au sein de plusieurs entités, ne signifie pas un changement de période, un recoupement de plusieurs gravures peut être espacé de quelques dizaines de minutes. À titre d'exemple, la réalisation des bisons de Pech-Merle ou du panneau des chevaux à Chauvet n'aurait pris que quelques heures (Lorblanchet, 1990 ; Fritz et Tosello, 2005). À Chauvet, la première figure recoupe ainsi les traces de la dernière et montre que le panneau a été réalisé dans un temps court (Fritz et Tosello, 2005).

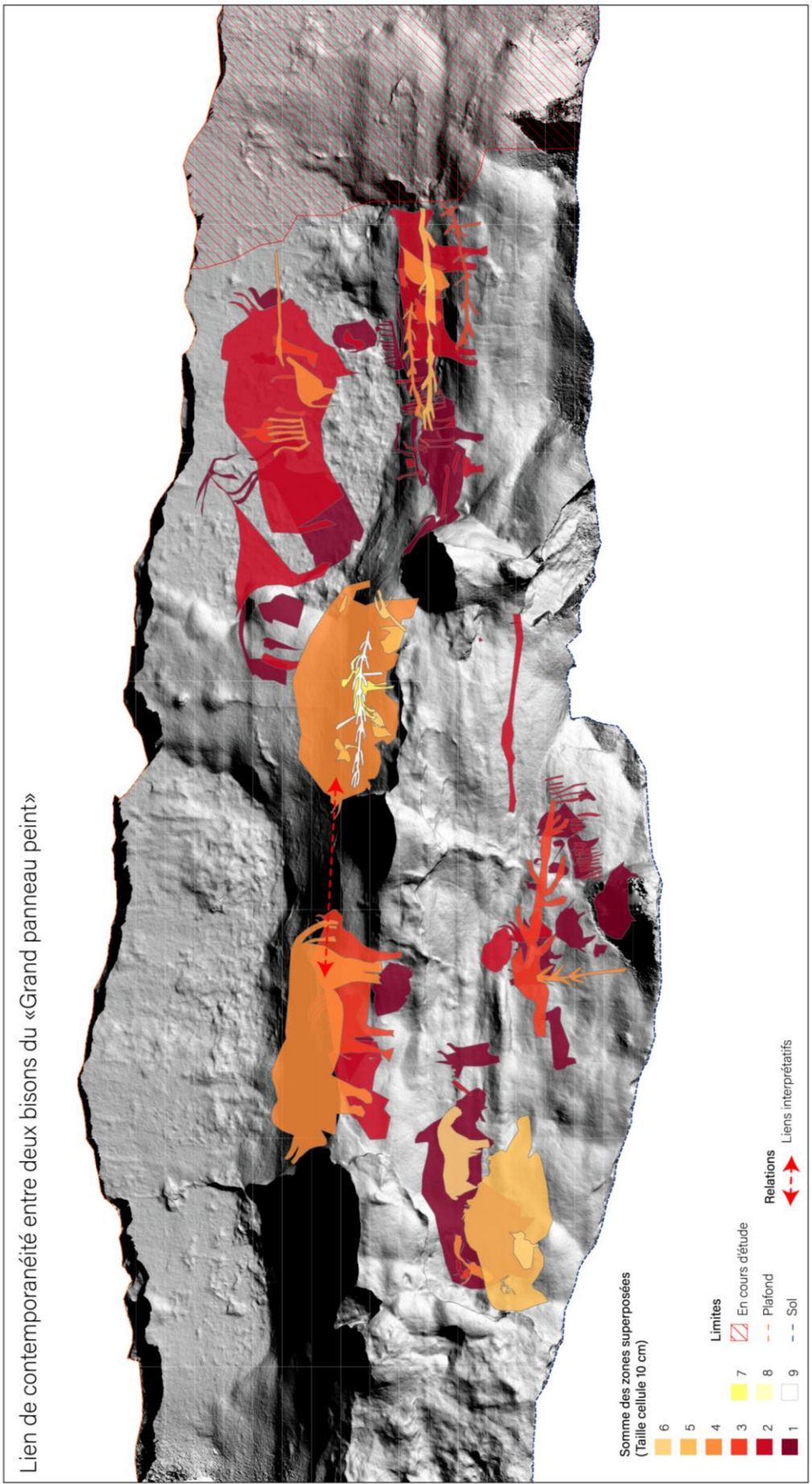
Aussi nous pouvons nous demander sur quel plan établir les liens de contemporanéité entre les différentes séquences et les superpositions. Sur le « Grand Panneau peint », plusieurs sous-ensembles autonomes existent, sans contact les uns avec les autres. Ces 7 sous-ensembles sont visibles grâce à la carte de

densité. Pour établir des liens de contemporanéité entre ces entités, nous observons « les tics de réalisation ». Ce sont, en histoire de l'art, des techniques pour retrouver « la main d'un artiste » : détails, tics discrets, erreurs ou tracés typiques. Ces techniques, propres à un individu, permettent de repérer des similitudes entre les œuvres. Toutefois, à cause de la détérioration de certains graphiques, leur identification et leur comparaison restent difficiles et cette démarche s'avère souvent infructueuse à cause de la conservation des figures. À Marsoulas, l'étude révèle, néanmoins, deux entités qui peuvent être comparées : deux bisons qui sont des figures structurantes du Grand Panneau peint. Des critères de correspondance sont effectués à partir de l'analyse des images, des techniques, des savoir-faire afin d'identifier des corrélations dans la réalisation des bisons : « *Les proportions générales, le cadrage (le chanfrein est placé au bord d'une niche tandis que la ligne dorsale dépasse le surplomb de la paroi), l'utilisation d'un relief naturel pour placer l'œil, tous ces indices suggèrent que ces œuvres sont de la même main... nous serions alors en présence d'un couple de bisons* » (Fritz et Tosello, 2004, p.65).

La mise en relation de ces deux entités (le bison de gauche G14.01 et le bison de droite G17.02) dans la cartographie permet d'associer deux ensembles séquentiels (Carte 8). Deux cas de figure apparaissent : l'intégration du bison de gauche sur des gravures préexistantes de tailles moyennes et le bison réalisé dans un espace vide. Des gravures arrivent postérieurement et s'insèrent dans le corps du deuxième animal. Deux modes opératoires sont dégagés : un recoupement de grandes figures existantes pour la réalisation du bison de gauche, alors que postérieurement des entités s'intègrent à la réalisation du bison de droite. Cette relation entraîne le basculement des entités dans les phases sus-jacentes et la création de nouvelles séquences. Si ces deux entités sont réalisées dans un temps proche, il est intéressant d'en observer les choix de positionnement des entités sous et sus-jacentes. Le bison de gauche (G14.01) vient recouvrir des figures de tailles moyennes, alors que dans le bison de droite (G17.02) des figures de tailles plus modestes ont été insérées dans le corps de l'animal. Nous avons là deux procédés de superpositions différents pour deux entités pourtant liées.



Carte 7 – Position des signes par séquence, L.Louman.



Carte 8 – Liens de contemporanéité ajoutés aux séquences, L.Louman.

3.6.4.2. - Vers un recalibrage de la chronologie relative

L'intégration des « tics de réalisation » et des signes peut ainsi permettre de calibrer les séquences pour une nouvelle interprétation de la lecture du Grand Panneau peint. Ce sont aussi des études sur les colorants, qui sont en cours et ne peuvent pas être intégrées, qui laissent envisager de nouveaux résultats. Cela permettrait une lecture plus fine de l'espace graphique de la grotte. Cette hypothèse reste à confirmer. Toutefois si cette tendance se démontrait cela permettrait la mise en lien direct de la plupart des sous-ensembles du Grand Panneau peint et donnerait une chronologie relative beaucoup plus fine des espaces (Carte 9). Nous pouvons nous appuyer sur les signes rouges en hématite, pour proposer une interprétation séquentielle en partant du postulat qu'ils sont issus de la même tradition graphique. Ce postulat permet de les regrouper ponctuellement. Certains auteurs avaient déjà pris en compte ce postulat²². Plusieurs éléments peuvent être avancés pour proposer cette hypothèse :

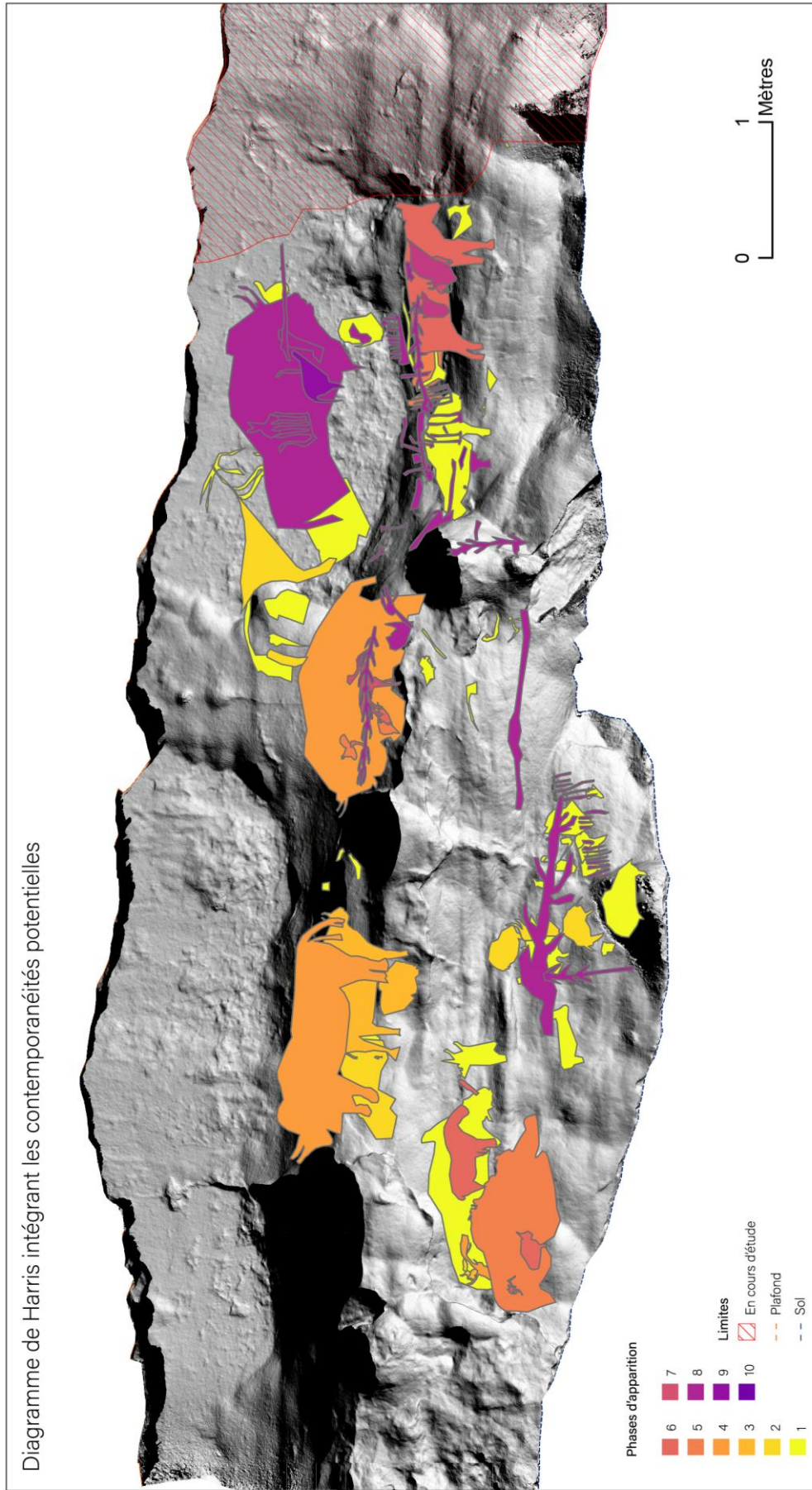
- leur forme, beaucoup de mêmes motifs se rencontrent comme des signes barbelés ou des signes en « T inversé » ;
- leur coloration uniforme alors que les nuances de rouge, violacé et orangé ont déjà montré des spectres très proches qui reflète l'hématite ;
- leur technique de réalisation exclusivement à la peinture ;
- leur position stratigraphique en terminant chaque sous-ensemble ;
- leur position géographique englobante et se positionnant en relation avec les figures animales.

Si cette parenté de l'ensemble des signes rouges se confirme, la proximité avec les phases graphiques semble ainsi se dessiner vers la représentation d'un seul et même horizon chronologique et une construction d'ensemble élaboré.

La lecture du mode de construction du Grand panneau peint comme nous l'avons évoqué semble être un phénomène d'ensemble. La présence de gravures intercalées dans les peintures semble également être une volonté graphique plus que la désignation d'un changement réel d'une nouvelle phase chronologique ultérieure isolée de l'ensemble.

²² « *Sauf rares exceptions, les signes gravés sont superposés ou juxtaposés à des représentations gravées, alors que l'association inverse (signes peints sur représentation animale gravée) n'est pas rare. Il y a une liaison étroite de nature technique avec les figures animales ou humanoïdes gravées et les signes gravés ; il y a intrusion des signes peints dans les ensembles gravés* » (Breuil, 1906).

Diagramme de Harris intégrant les contemporanéités potentielles



Carte 9 – Séquences hypothétiques en cas de contemporanéité des signes, L.Louman.

3.6.4.3. - Bilan de la stratigraphie

L'étude de la chronologie relative de 141 entités du Grand Panneau peint, ouvre la discussion sur le processus de mise en place des figures.

Cette modélisation de la stratigraphie par le SIG et la matrice de Harris offre une acquisition plus rapide de l'information. Ce bilan amène quelques remarques. Tout d'abord l'étude des thématiques des figures au sein des séquences ne montre pas de véritables changements dans les thèmes, si ce n'est la présence ultérieure de signes qui arrivent majoritairement à partir de la deuxième séquence. L'étude des techniques affiche l'omniprésence de gravures, de peinture-gravures et de peintures, tout au long des séquences. Ensuite, la recherche des liens de contemporanéité à confirmer la diversité de traitement de ces figures. La connexion entre deux bisons a mis en avant un procédé de construction inversé. Alors que le bison de gauche se retrouve sur des figures préexistantes, le bison de droite est la première figure en paroi et elle va contenir plusieurs autres figures.

Globalement, l'étude de la stratigraphie pariétale ne permet pas de dégager nettement des phases ornementales distinctes, mais montre au contraire des procédés imbriqués dans les zones. Le seul phénomène visible et perceptible, déjà mentionné par les chercheurs, est la présence des signes rouges peints, présents en dernière position dans les séquences. Cependant, la présence d'une gravure postérieure à ces signes nuance cette observation.

Le résultat de la matrice de Harris actuelle n'a pas permis de distinguer des étapes de rupture thématico-technique, mais au contraire les phases ornementales sont intégrées dans les panneaux et semblent s'inscrire dans une logique commune. Plus les critères analytiques s'intègrent à la stratigraphie pariétale, plus ils précisent que le nombre de superpositions est davantage un « effet de construction » qu'un indice de changement de phases chronologiques. Les niveaux de superposition s'apparentent plus à une composition graphique volontaire plutôt qu'à un réel palimpseste chaotique.

Dans chaque séquence de sous-ensembles, nous constatons la présence d'une diversité de figures et de techniques. La technique, les thématiques, les choix stylistiques ne sont pas forcément des critères de changements de séquences, mais bien des choix de compositions délibérés de la part des auteurs.

Nous sommes alors amenés à considérer deux hypothèses : soit il existe une phase ornementale globale produite par un groupe portant les mêmes traditions ou codes graphiques ; soit la grotte a connu plusieurs fréquentations par des groupes aux traditions graphiques distinctes, avec la volonté d'adhérer à une construction d'ensemble. Seul un examen stylistique poussé de l'ensemble des figures et des collections d'art mobilier pourrait nous renseigner.

Ces résultats doivent être nuancés, car les relations entre ces entités graphiques reposent sur des données partielles. La lecture des informations ne livre pas de réponses définitives, mais seulement des tendances. Pour infirmer ou confirmer ces premières observations, la matrice de Harris devrait être étendue à l'ensemble du Grand Panneau peint et intégrer les résultats des nouvelles analyses de pigments (Walter et al., 2016).

3.7. - Relation spatiale entre sol et paroi

3.7.1. - Modéliser les opérations anciennes

Les grottes ornées ou les sites archéologiques sont souvent marqués par des opérations de fouilles anciennes. Ces premières recherches archéologiques s'apparentaient à une quête du bel objet, se concentraient uniquement sur la découverte du mobilier, sans prendre en compte le contexte archéologique de la découverte. Ces fouilles n'étaient pas soumises à des méthodologies de recherches précises, de ce fait le contexte de découverte sur de nombreux sites reste peu documenté et rend les recherches actuelles plus difficiles. Malgré tout, certains fouilleurs ont rendu compte de leur opération, ils ont laissé des carnets, des mentions, des coupes ou des repères permettant de comprendre et de relocaliser les opérations de fouilles. Il existe une pluralité d'informations à mobiliser pour mieux définir les contextes archéologiques et saisir l'historique d'un site. À Marsoulas, de nombreuses questions subsistent quant à la hauteur du niveau de sol quand Cau-Durban a démarré les fouilles, en 1883. Disposer de cette information aurait permis de replacer les niveaux stratigraphiques aisément et faciliter le rattachement éventuel des productions artistiques avec le mobilier archéologique. Sans ces données la tâche s'avère plus complexe. Et c'est d'ailleurs l'une des problématiques de recherche notifiée lors de la reprise du site de Marsoulas. Reprendre toutes les sources historiques afin de les confronter, d'évaluer leur fiabilité et simuler les opérations anciennes, est un réel bénéfice pour documenter les contextes archéologiques de la grotte. Pour cela il est possible de s'appuyer sur les rapports d'activités et les publications anciennes et actuelles (Cau-Durban, 1885 ; Régault, 1897 ; 1902 ; Russell, 1932 ; Bégoüen et Breuil, 1933 ; Bégoüen et Russell, 1933 ; Méroc et al., 1948 ; Fritz et Tosello, 1999 ; 2004 ; 2014 ; 2016a ; 2016b ; 2019). C'est un enjeu méthodologique complexe qui va chercher à déterminer la fiabilité de ces sources puis à les transposer dans les modèles numériques actuels. Pour mener ce travail de recherches historiques archéologiques, nous avons choisi d'utiliser le SIG qui est l'outil adapté pour replacer, simuler et rattacher et centraliser l'ensemble de ces informations passées. En archéologie, des exemples de SIG ont permis de réaliser

des suivis de fouilles archéologiques, mais ont également permis, à partir de la description d'anciens fouilleurs (Katsianis *et al.*, 2008 ; 2017 ; 2021 ; Sjoerd, 2016 ; Landeschi *et al.*, 2018b), d'estimer le volume de vestiges livré dans les unités stratigraphiques.

L'objectif de cette partie est de parvenir à replacer les opérations, mentions et constats des auteurs, pour livrer une représentation spatiale des évènements et des opérations archéologiques de la grotte. Cette démarche nous permettra dans un second temps de discuter des niveaux de sols et permettra de confronter les niveaux et les sources d'informations.

Les éléments mobilisés seront de natures diverses, il peut s'agir de mesures, de photographies ou de mentions plus vagues. Les données seront présentées en fonction de leur fiabilité. Un tableau final évaluera et synthétisera, pour chacune des opérations de fouilles menée sur la grotte de Marsoulas, la fiabilité de ces sources et la capacité d'exploitation de ces données. C'est dans un dernier temps que nous pourrons modéliser ces données et en présenter les résultats.

3.7.2. - Indice de modélisation stratigraphique : une information différentielle et incertaine

3.7.2.1. - La stratigraphie Cau-Durban

La stratigraphie de Cau-Durban est mentionnée à plusieurs reprises dans ce travail, car il nous livre de nombreuses informations chiffrées, sur la profondeur des niveaux archéologiques (Cau-Durban, 1885). Il commence ses fouilles en 1883 et mène un travail innovant pour la période. L'essentiel des recherches sur la grotte s'appuie sur ces découvertes qui lui permirent de proposer plusieurs horizons archéologiques. Il creuse à 17 mètres de l'entrée, au pied de la paroi de gauche vers l'ouverture. Il rencontre 3 niveaux archéologiques dont il décrit les types de sédiments et les vestiges découverts. Il mentionne également les variations d'épaisseur des couches (Tableau 9).

Lorsque les mesures sur la profondeur sont livrées, elles facilitent la modélisation du SIG cependant, dans la stratigraphie de Cau-Durban, l'emplacement du début de fouille reste assez vague. Et sans coupe disponible, il est complexe de retrouver, où les différents niveaux de profondeur ont été mesurés. Il semble, par ailleurs, que la fouille de Cau-Durban n'ait pas fait l'objet d'un décapage progressif, car il n'a pas eu l'autorisation de jeter les déblais à l'extérieur, il a donc certainement fait progresser sa tranchée vers l'entrée sans décapage horizontal. Malgré ses compétences, Cau-Durban s'est peut-être heurté à la perméabilité de certaines couches du sol, contraignant l'évolution de son travail.

| Niveau | Description niveau | Hauteur | Profondeur |
|----------|---|-------------|-------------|
| Couche 1 | Niveau stérile | 0,80 m | 0,80 m |
| Couche 2 | Niveau stérile | 0,10 m | 0,90 m |
| Couche 3 | Niveau archéologique | 0,10 m | 1,00 m |
| Couche 4 | Niveau stérile de cailloutis | 0,10 m | 1,10 m |
| Couche 5 | Niveau archéologique 2, sagaie de Lussac-Angles | 0,20/0,40 m | 1,30/1,50 m |
| Couche 6 | Niveau stérile | 0,10 m | 1,40/1,60 m |
| Couche 7 | Niveau archéologique 3, charbonneux ayant livré du matériel | 0,20 m | 1,60/1,80 m |

Tableau 9 – Stratigraphie de Cau-Durban d’après sa publication en 1885 (Cau-Durban, 1885).

3.7.2.2. - Le sondage Régnauld et la coupe du porche

Les travaux de Régnauld dans les années 1885-1905 se distinguent par deux importantes opérations de fouilles. Dans une première opération, il choisit de creuser une tranchée à l’entrée, à droite, à 1,60 m de profondeur, où il trouve quelques pelletées de foyers (Figure 63). Cette opération, plutôt localisée sur la paroi de droite, est documentée par des photos. Lors de la seconde opération, il débute sa fouille au niveau « des peintures d’animaux peint à la sanguine ». La profondeur de la tranchée est de 1,80 m, il dégage de cette zone des pièces d’industrie osseuse et d’autres mobiliers. Toutefois les limites horizontales qui marquent le début et la fin de la fouille ne sont pas connues. Félix Régnauld a pu poursuivre la tranchée déjà effectuée par Cau-Durban. Aujourd’hui les données disponibles sont limitées, seules les limites verticales sont connues, les limites horizontales ne sont communiquées que par le plan de Lucien Michaut et Marcelle Ollé.

D’autres informations sont également disponibles, elles concernent la coupe de la fouille du porche réalisée dans les années 1930 par Henri Bégouën et James Russell. Il dessine une coupe globale de leur opération (Figure 26), toutefois cette source apporte peu d’informations pour comprendre la configuration de la suite de la grotte, car les hauteurs du niveau de l’entrée ne sont pas mentionnées. L’intérieur de la grotte est déjà fouillé à cette période.



Figure 63 – Cette image témoigne de la hauteur de la tranchée réalisée par Régnauld. On aperçoit, entre autres, un jeune debout, appuyé contre la paroi, qui confirme ces 1,60 m de hauteur.

3.7.2.3. - Le plan d'Ollé et Michaut et les opérations Méroc

Il faut attendre 1948 pour obtenir le premier plan topographique de la grotte. Ce plan paraît être une synthèse de l'ensemble des opérations depuis sa découverte. Il apparaît dans la publication de Louis Méroc en 1948, mais il est réalisé par Lucien Michaut et Marcelle Ollé (Méroc et al., 1948). Ce plan comporte à la fois, la localisation des relevés, les anciennes opérations et une coupe transversale des profondeurs atteintes (Figure 27). Cependant, en le géoréférençant, nous relevons de nombreuses incohérences. Tout d'abord, les échelles sont absentes, même si les hauteurs de sols actuelles étaient sensiblement différentes de celles de l'époque, les mesures ne correspondent pas. Ensuite, les mentions de sondages réalisés par Louis Méroc dans les années 1933 à 1948 ne sont pas illustrées. Et la localisation des entités graphiques ne correspond pas aux sondages. Le sondage Cau-Durban n'est pas au bon emplacement, il n'est pas situé à 17 mètres, mais à 10 mètres de l'entrée. Enfin, Louis Méroc mentionne que les 25 premiers mètres ont été fouillés, or cette information n'apparaît pas sur le plan. Nous avons, par ailleurs, envisagé l'hypothèse que les mesures aient plus de chances d'être cohérentes vers l'entrée, car elles ont dû être prises à partir du début de la cavité et peuvent être moins précises vers le fond de la grotte en raison du pendage important. Mais en calant la topographie sur les levés topographiques, les limites des opérations sont floues et paraissent avoir été délimitées à la main. Ce qui suppose que le site a été remanié et que l'identification et la reproduction des zones en place restent difficiles et complexes. Ce plan aurait

fourni une source pertinente, mais malheureusement il est peu fiable et les limites des sondages sont inexactes.

Louis Méroc signale dans sa publication trois nouvelles opérations (Méroc, 1948). Un premier sondage à 25 m qui comporte peu de résultats, les sédiments retrouvés semblaient remaniés. Un second sondage réalisé à quelques mètres de l'entrée à 1,60 m, permet de trouver des couches en place avec la découverte de nombreuses sagaies, il repère également la couche 7 d'où il extrait des grattoirs carénés. Une troisième opération à la même période où Lansselin fouille à proximité de la paroi de droite, dans la partie laissée vierge par l'abbé Cau-Durban et Félix Régault. Il identifie des foyers, des pendeloques qu'il rattache à la couche 3 de Cau-Durban, ces niveaux se localisant presque en surface.

3.7.2.4. - Le Sondage de 1995

En 1995, Sébastien Lacombe effectue un sondage pour observer les niveaux archéologiques en place (Lacombe, 1996). Cet emplacement à proximité de l'entrée et de la paroi de droite doit être, selon les mentions de Cau-Durban, une bande non fouillée et laissée vierge pour les générations futures. Cependant la réalité de la fouille montre des niveaux très remaniés qui ne permettent pas l'observation des deux couches archéologiques magdaléniennes décrites par Cau-Durban. La première couche en place se trouve à 1,60 m de profondeur. Selon Sébastien Lacombe cette couche correspond au niveau 7 décrite par Cau-Durban, cette couche serait alors celle qui était mentionnée autrefois comme de l'Aurignacien. Néanmoins, cette opération a permis de retrouver une plaquette gravée de figure anthropique semblable à celles retrouvées sur les parois. Pour intégrer cette information, nous nous sommes appuyés sur les limites actuellement visibles. Cette donnée reste facile à modéliser, car le sondage a été réalisé dans les configurations actuelles de la grotte qui n'a pas évolué depuis 1995.

3.7.2.5. - Le sondage de 2006-2007

La donnée la plus récente résulte d'un sondage effectué par Carole Fritz, en 2006, à 32-33 mètres de l'entrée, au pied de la paroi de droite, là où des gravures se prolongent sous le niveau du sol. À 52 cm de profondeur par rapport au sol actuel, une dalle horizontale portant des traces de manganèse est retrouvée, mais reste difficile à observer. Un fragment de charbon est aussi identifié avec une datation comprise entre 18 261 et 18 011 ans cal BP (14,850 ± 120 years BP, GifA 17257) (Fritz et al., 2007 ; 2021) (Figure 64). C'est à l'heure actuelle l'unique datation directe *in situ*

qui permette d'être reliée à un niveau archéologique. Les limites de ce sondage sont parfaitement connues et documentées (Fritz et al., 2012b).



Figure 64 – Vue zénitale du sondage, C.Fritz.

3.7.2.6. - Les repères de débuts de fouilles

L'un des enjeux principaux de cette modélisation des fouilles anciennes consiste à retrouver le niveau initial de la couche stratigraphique la plus récente lors de la découverte de la grotte. Seule, la recherche de ce niveau de repère pourra permettre de simuler les niveaux stratigraphiques mentionnés par Cau-Durban. Nous avons quelques indications. Nous savons tout d'abord que Cau-Durban démarre sa fouille à « à 17 mètres environ de l'entrée, la paroi de gauche forme une sorte d'éperon qui ménage une anse assez profonde et très propice à l'installation d'un foyer » (Cau-Durban, 1885) ; Félix Régnauld explique avoir creusé 1,80 m « en face des peintures à la sanguine » ce qui correspond à la zone du Grand Panneau peint à travers les mentions « forme d'éperon rocheux » ou « peintures à la sanguine » (Régnauld, 1903).

Dans le rapport de 2019, plusieurs indices ont aussi été identifiés par les membres de l'équipe. Le premier repère est une gravure « 1910 » gravée sur la paroi de gauche (Fritz et Tosello, 2019). Ce repère est situé aujourd'hui à plus de 3 m du sol, c'est un bon indicateur pour montrer que le sol était plus élevé.

Ensuite ce sont les observations photographiques qui ont éclairé la compréhension de la morphologie du porche. Des photographies ont été prises pendant les fouilles archéologiques. Gilles Tosello et Carole Fritz ont identifié un même repère sur trois images du porche permettant de recalibrer la coupe Bégouën dans la morphologie actuelle. Ce repère est une avancée rocheuse au niveau de la porte de l'entrée actuelle qui apparaît sur 4 clichés pris respectivement en 1880, 1931, 1939 et 1955. Il se distingue très nettement aujourd'hui (Figure 65, Annexes 10). Il est visible sur le Scan 3D et peut-être coordonné. Il n'informe ni du pendage, ni de la configuration des couches au sein de la grotte, mais donne un ordre d'idée de la hauteur des remplissages avant les opérations archéologiques.



Figure 65 – Fouille du proche 1931 (Bégoüen et Russell).

3.7.2.7. - Évaluation des données différentielles de l'étude

Les principales sources de données (sondage Fritz ; sondage Lacombe ; stratigraphie de Cau-Durban ; repère de début de fouille ; le plan Ollé-Michaut ; Coupe Russell-Bégoüen ; la tranchée de Régnault) ont été exposées, il convient maintenant de les évaluer et de confronter ces niveaux d'informations.

De prime abord des incohérences d'information entre les sources semblent conséquentes, notamment dans le placement des opérations et des hauteurs atteintes.

Les études récentes mettent en avant que l'ensemble de la première partie de la grotte semble avoir été fouillée. Il faut rajouter à cela les grattages et pillages non mentionnés dans les sources et rappeler également les modifications ultérieures qui ont pu être réalisées (déplacements de blocs, aplanissement) dans le but de rendre la grotte accessible aux visiteurs. Ces aménagements sont visibles sur d'anciennes photos.

L'ensemble des données présentées a pu être synthétisé dans le tableau ci-dessous (Tableau 10). La donnée a été décrite et estimée en fonction du type de sources (mesures, coordonnées, photos), de sa fiabilité (anciennes, vagues ou

précise) auquel nous avons livré une estimation. Ensuite, nous avons pu juger de la capacité d'exploitation de la source. Pour cela, nous avons évalué la possibilité ou non de la modéliser dans le SIG.

| Nom de la source | Type de source | Description | Fiabilité de la source | Capacité d'exploitation |
|---------------------------------------|----------------|--|------------------------|-------------------------|
| Sondage Fritz | Mesures/date | Niveau archéologique daté | Forte | Bonne |
| Sondage Lacombe | Mesures | Profondeur maximale d'un niveau | Forte | Bonne |
| Stratigraphie de Cau-Durban | Mention | Séries de mesures des niveaux archéologiques | Moyenne | Limitée |
| Repère archéologique début de fouille | Image photo | Indice de remplissage avant fouille | Forte | Bonne |
| Le plan Ollé-Michaut | Plan | Localisations des opérations | Faible | Limitée |
| Coupe Russell-Bégoüen | Coupe | Localisations opérations et niveaux archéologiques | Moyenne | Limitée |
| La tranchée de Régnault | Mention | Niveaux du substrat | Faible | Limitée |
| Le liseré de remplissage | Mesures | Limite d'un remplissage | Moyenne | Limitée |

Tableau 10 – Synthèse des données collectées.

3.7.3. - Cartographie historique des opérations

3.7.3.1. - Modélisation des opérations à partir des archives

À partir du tableau précédent, nous avons procédé à la cartographie des sources par niveau de fiabilité (

Figure 66). Les opérations ont été replacées telles que mentionnées par les auteurs. L'objectif premier de cette mise en forme de l'information cherche à replacer les événements archéologiques dans la morphologie actuelle pour rendre compte de la complexité des opérations réalisées. Dans un second temps, cette modélisation vise à comparer les récits des différents auteurs.

Comme nous l'avons estimé dans le précédent tableau, certaines limites de sondages ou fouilles sont mentionnées et demeurent géographiquement très imprécises. Les auteurs se contentent quelquefois de ne mentionner que le mètre à partir de l'entrée et la profondeur à laquelle ils sont descendus. La carte tient donc compte de ces mentions floues, les opérations aux limites non connues sont signalées en rouge et les opérations fiables en vert. Sur la cartographie nous constatons que mise à part la position des deux récents sondages et des

coordonnées des entités graphiques, les limites des autres opérations sont inconnues malgré le plan de la publication de Louis Méroc.

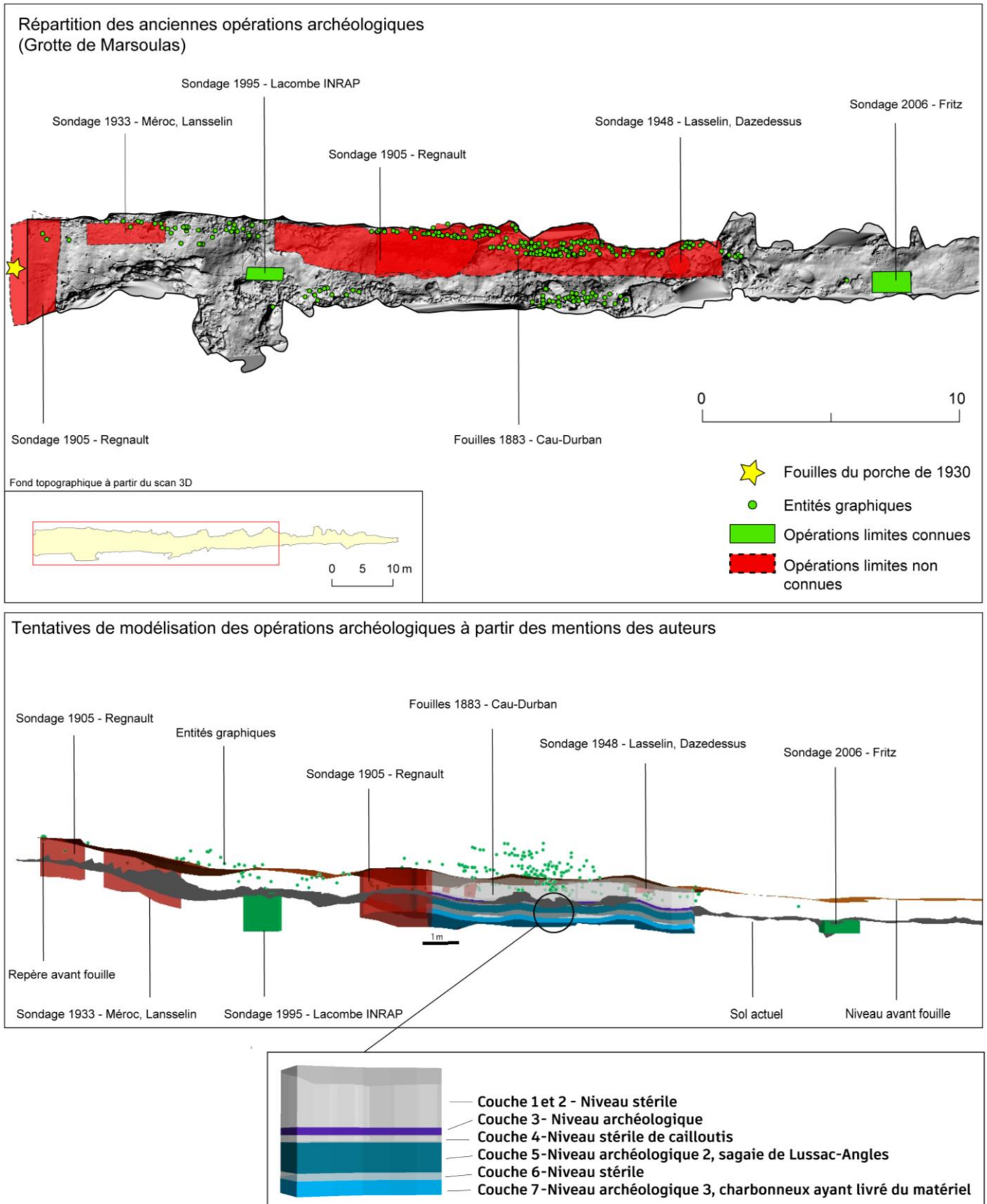


Figure 66 – Opérations archéologiques d'après les mentions des auteurs.

La restitution spatiale 3D proposée vise à modéliser les opérations et les niveaux archéologiques, telle qu'ils ont été mentionnés par les précédents fouilleurs. Bien que les limites horizontales ne soient pas connues, nous avons simulé les niveaux de profondeur mentionnés par ces auteurs, sans tenir compte des limites horizontales. Sous ArcScène les niveaux de profondeurs sont intégrés en fonction de la profondeur livrée par chaque source, chaque opération est ainsi placée sur la carte. L'extrusion des couches a été simulée dans la configuration actuelle de la grotte. Nous avons tout d'abord positionné les deux sondages dont nous connaissons les dimensions : le sondage avec une profondeur de 0,52 m par rapport à la surface actuelle et le sondage de Sébastien Lacombe situé à 1,60 m de la surface actuelle et le MNT du sol actuel.

Pour simuler la stratigraphie de Cau-Durban nous sommes partis du repère de hauteur mentionné sur les différents clichés (Annexe 10). Les coordonnées de cette proéminence rocheuse ont pu être récupérées afin d'y faire démarrer les niveaux supérieurs de la stratigraphie. Dans l'état actuel de la grotte, il se situe aujourd'hui à environ 80 cm de sol (Annexe 10). À partir de ce repère, les opérations et la stratigraphie de Cau-Durban sont simulées en suivant ce niveau de sol théorique avant fouille en suivant la forme globale du sol actuel.

À la lecture des informations, les premières incohérences apparaissent. Comme nous l'avons déjà souligné, les limites du sondage de la tranchée Cau-Durban sont inexactes. L'emplacement de la tranchée de Felix Régault mentionné sur le plan Méroc ne coïncide pas avec l'emplacement de la tranchée de Cau-Durban. Enfin, dans sa publication Louis Méroc, explique également que les 25 premiers mètres ont été fouillés. L'essentiel du sol jusqu'à cette limite n'est plus en place. Cependant, le plan issu de la même publication ne correspond pas aux descriptions.

Par ailleurs, à travers les informations récentes du sondage effectué par Sébastien Lacombe, les bandes de couches volontairement laissées en place par les anciens fouilleurs sur la paroi droite (à destination des générations futures), ont également été fouillées. Les limites citées par Félix Régault et le plan Méroc sont une nouvelle fois inexactes, car la zone droite a, au moins, été fouillée sur plus 1,80 m. Dans chaque cas, les limites de la zone fouillée s'étendent au-delà des limites annoncées. D'autres opérations plus ponctuelles et non publiées notamment au début du XXe siècle ne sont pas représentées. Les excavations s'étendent ainsi sur toute la longueur de la paroi de droite. Malgré les tentatives de modélisation, le nombre important d'incertitudes et d'incohérences des informations contextuelles ne permet pas d'avancer sur la documentation des limites horizontales des opérations.

Enfin, une partie des entités se retrouvent bien sous ces niveaux de remplissage notamment les gravures situées sur la paroi de gauche et au niveau de l'entrée. En ce qui concerne les niveaux archéologiques, nous observons que la première couche sous le niveau stérile (qui correspond à la couche 3 à baguette demi-ronde) est proche du niveau de sol actuel.

Cette simulation est hypothétique, car elle se base sur des mentions anciennes et nous sommes dans l'incapacité de visualiser le substrat rocheux ainsi que la présence de blocs éventuels qui jonchent le sol. Elle invite néanmoins à confirmer le fait qu'une bonne partie des entités graphiques se trouvaient sous les niveaux de sols avant fouille, que la première couche archéologique mise au jour par Cau-Durban apparaît relativement proche du niveau actuel et qu'un pendage naturel en direction de l'étranglement semble se dessiner. Si dans le cas présent cette tentative s'avère limitée, elle ouvre des perspectives qui peuvent être utiles pour la remobilisation des données historiques dans les reprises de sites archéologiques afin de mettre en lumière les incohérences et validité des mentions.

3.7.3.2. - La distribution par les centroïdes

L'étude des réalisations graphiques en hauteur est susceptible d'apporter un certain nombre d'éléments quant à la morphologie du sol d'origine. Dans l'art pariétal, il semble possible qu'une majorité d'entités graphiques aient été réalisées debout à partir du sol. On suppose également des installations en bois pour l'escalade sur des rochers puissent avoir été employées pour la réalisation des entités en hauteur. Nous constatons pour Marsoulas qu'une importante majorité est présente dans un champ manuel correspondant à une taille humaine, c'est-à-dire globalement comprise entre 1,40 et 1,70 cm qui correspond à une hauteur de réalisation confortable.

Si dans un premier temps, nous nous sommes intéressés aux mentions pour retrouver les niveaux d'archéologiques, une autre démarche peut être aussi proposée. Elle consiste à s'intéresser aux coordonnées géographiques des manifestations graphiques. Si les vestiges et les niveaux archéologiques ne sont pas conservés, il est clair que les entités graphiques sont dans leur emplacement d'origine. Il est alors pertinent de s'intéresser de plus près à cette distribution qui nous fournit de nouvelles pistes de réflexion sur ces questions de niveaux de sol et de phases ornementales. Chaque entité de la première partie a été coordonnée à partir de son centroïde²³ et nous apporte les coordonnées (x, y, z).

²³ Les centroïdes sont les coordonnées centrales d'un polygone. C'est un point autour duquel les contours sont à égales distances de ce centre.

Les coordonnées géographiques de l'ensemble des distributions de la première partie ont pu être analysées (Figure 67). Ces dernières se répartissent équitablement autour de la médiane dans les valeurs inférieures et supérieures. Cette distribution est régulière. Nous constatons cependant que les entités se situent dans une amplitude très importante, de plus de 3 m. La majorité d'entre elles se regroupent dans un intervalle de 45 cm.

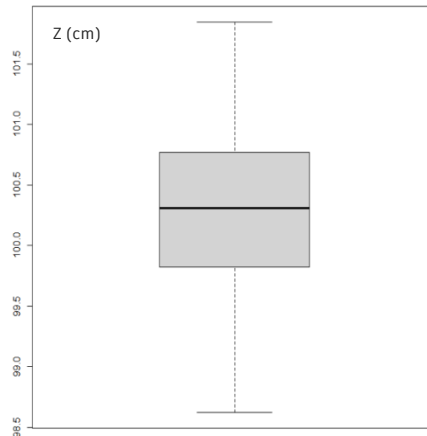


Figure 67 – Répartition des coordonnées (Z) des centroïdes des entités.

Un deuxième graphique de répartition a été mis en place sur l'axe (x et z) sans tenir compte de la profondeur de la paroi (y). En analysant la distribution générale des centroïdes, nous constatons une régularité dans l'investissement de l'espace graphique. La modélisation des entités graphiques apporte également une cohérence dans la distribution graphique des parois de gauche et de droite si bien qu'il est impossible de les différencier, les entités s'alignent en continuité vers le pendage décroissant de la paroi de droite et répond aux variations des entités graphiques situées sur la paroi de gauche. Les entités en paroi de droite s'inscrivent dans la répartition des entités paroi de gauche et vice-versa (Figure 68). Enfin, il apparaît globalement une forme de symétrie et de régularité dans la disposition de droite et gauche en direction de la fin de la cavité. Cette visualisation fait apparaître une réalisation des parois, droite et gauche, dans des hauteurs et continuités similaires. Cela laisse d'envisager que les parois de gauche et droite aient été réalisées avec le même niveau de sol.

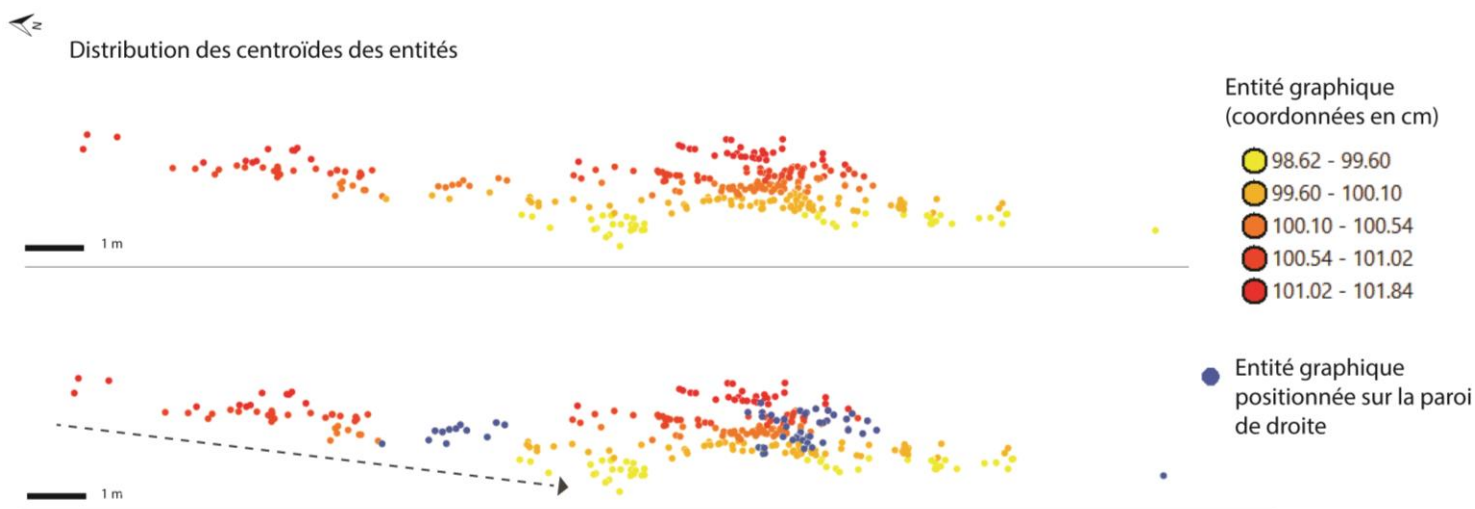


Figure 68 – Visualisation des axes x et z dans la répartition des centroïdes des entités, L.Louman.

3.7.3.3. - Les entités graphiques dans le niveau actuel

Premièrement nous constatons que sur un même panneau des entités peuvent être positionnées à des hauteurs différentes et pourtant être très proches géographiquement. Sur le Grand Panneau peint, ce phénomène est révélateur. Nous identifions que les deux entités G16.03 et G19.10, sont positionnées à moins de 2 mètres de distance et pourtant 3,23 m de hauteur les séparent. Cet exemple, qui sépare deux entités pourtant situées à proximité l'une de l'autre, est le plus extrême (Figure 69).

Les deux entités indiquées en rouge dans la figure soulignent ainsi une organisation englobante avec des entités très basses et très hautes dans le panneau.

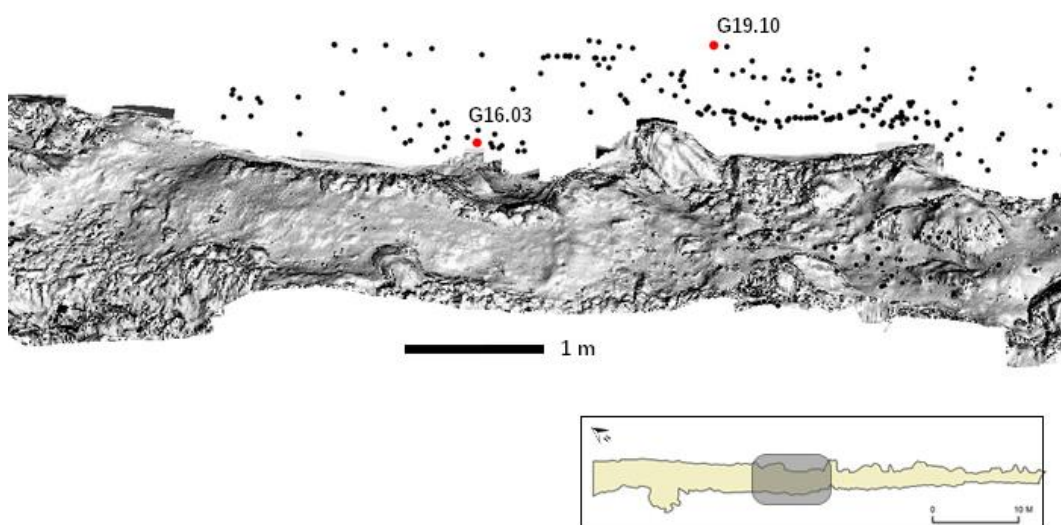


Figure 69 – Localisation de l'entité la plus haute et la plus basse. L'entité G16.03/G19.10 est située à 3,23 m de hauteur, L.Louman.

En observant la configuration actuelle de la grotte, nous observons que plusieurs entités sont localisées sous les niveaux de sols. La dépression conservée de la tranchée réalisée par Cau-Durban/Régnault laisse apparaître de nombreuses figures, gravures et peintures qui sont pourtant en dessous du sol de circulation actuelle. Notamment ce bison (G16.03) localisé dans une niche mise au jour dans l'étude. Le bas du Grand Panneau peint montre également les vestiges de plusieurs entités graphiques. Ce phénomène s'accroît dans la seconde partie de la cavité où de nombreuses gravures sont sous le niveau de sol.

Dans la configuration actuelle de la grotte, il a été possible de soustraire la hauteur (Z) des entités aux cellules de raster sous-jacentes du modèle numérique de terrain. Il s'agit d'une vision indicative, car le sol actuel est la conséquence de fouilles et remblais et aujourd'hui ces chiffres ne sont plus significatifs. Les négatifs des opérations de fouilles conditionnent ce résultat, c'est le cas de la dépression due à la tranchée de Cau-Durban. L'analyse graduelle est affichée (Figure 70) avec une discrétisation en quartile. Chaque classe dispose d'un niveau équivalent d'entités permettant de se rendre compte des tendances et des hauteurs globales.

Hauteurs des entités par rapport au niveau de sol

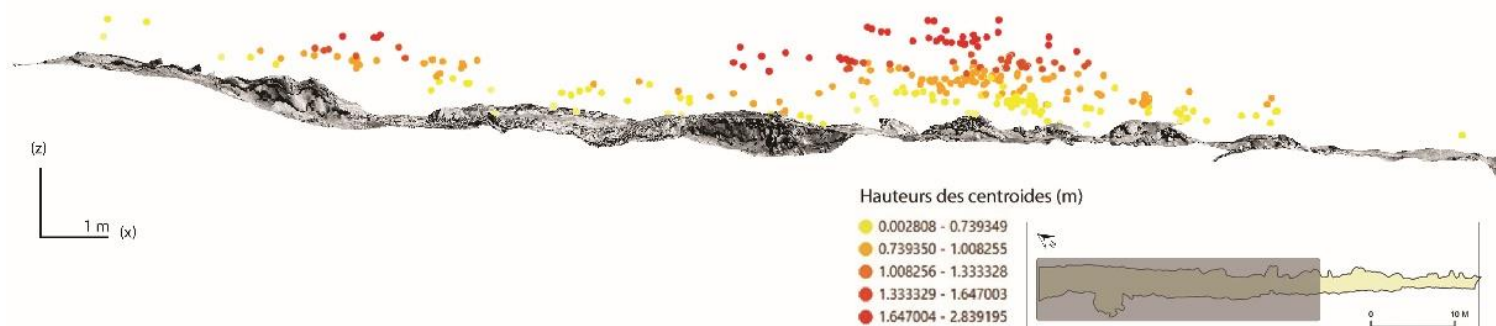


Figure 70 – Hauteurs moyennes des entités graphiques avec le niveau de sol actuel, L.Louman.

Nous constatons que plus de 50 % d'entités se répartissent entre 0,70 m et 1,65 m de hauteur. Dont la moyenne des centroïdes des entités se situe à partir du niveau actuel autour 1,10 -1,20 m. Des dizaines de figures ont leur centre localisé à plus deux mètres de hauteur, alors qu'une majorité de figures en jaune sont sous localisées à moins d'un mètre du sol actuel. Nous observons alors une grande variation des tailles et de centroïdes, ce qui laisse supposer la présence d'un ou plusieurs niveaux de sols, qui aurait permis un accès plus aisé à la partie supérieure. Ce questionnement s'applique aussi pour les entités présentes au ras du sol voir sous le niveau actuel du sol. En effet, d'un point de vue graphique, les entités sont rarement positionnées au niveau du sol, mais plus à une hauteur de la taille humaine, dans des zones de

réalisation confortables, comprises entre 1 m et 2 m de hauteur. Des valeurs qui correspondent à une hauteur du champ manuel standard pour un adulte debout.

Ces résultats démontreraient que les réalisations d'une partie des gravures aient pu être produites à partir du sol, et que la configuration du sol paléolithique ne serait alors pas si éloignée du niveau de sol actuel. Si la production de ces entités s'est réalisée grâce à un unique niveau de sol, nous sommes en mesure de penser que la moyenne du champ manuel soit plutôt autour 1,40 - 1,60 m et devrait se retrouver plus bas que le niveau du sol actuel. Sans les mentions précises des décapages, il reste difficile de démontrer si ces écarts sont le résultat d'un effet de composition ou de plusieurs niveaux de sols, à différentes périodes.

La distribution des entités graphiques permet d'appréhender leur hauteur, mais également leur régularité. Si dans une première analyse, il semble qu'une large partie des entités puissent avoir été réalisées à partir d'un niveau de sol sensiblement plus bas que le niveau actuel, d'importantes variations entre les entités les plus hautes et les plus basses persistent. De plus, le niveau de sol actuel est accidenté par les anciennes opérations. C'est pourquoi un niveau plat va être également simulé afin d'observer la conséquence qu'il peut avoir sur la distribution des entités graphiques (Figure 71). Ce niveau a pu être créé par un échantillonnage plus large du MNT à l'échelle d'un mètre afin d'obtenir une surface plus plane.

Pour simuler ces niveaux et leurs effets sur la distribution graphique, deux hauteurs de niveaux sont sélectionnées. Premièrement le sondage Lacombe, qui est la mesure la plus fiable que nous ayons pour cette première partie de grotte. Une profondeur de -1,60 m par rapport au sol actuel est choisie, car c'est à cette profondeur qu'il a rencontré un niveau archéologique en place (vert). Le second point de repère sélectionné est le niveau le plus bas situé dans la niche au bison rouge. (jaune). Localisé à l'aplomb, de la niche au bison (G16.03), ce niveau de sol est le seuil obligatoire nécessaire pour réaliser le bison (jaune). Ce bison est la figure la plus basse de la première partie et se repère sous le niveau de sol actuel. Sa position nous livre un terminus minimum, et atteste d'un niveau ayant forcément existé au moins pour le temps de sa réalisation ainsi que d'autres figures. Ces deux hauteurs de sols ont été simulées à partir du MNT lissé. La figure (Figure 71) montre ainsi les deux niveaux créés est le véritable niveau du sol actuel ainsi que la position des entités graphiques. Le rapport de deux hauteurs entre les entités graphiques et ces deux niveaux de sols sont à présent conservés.

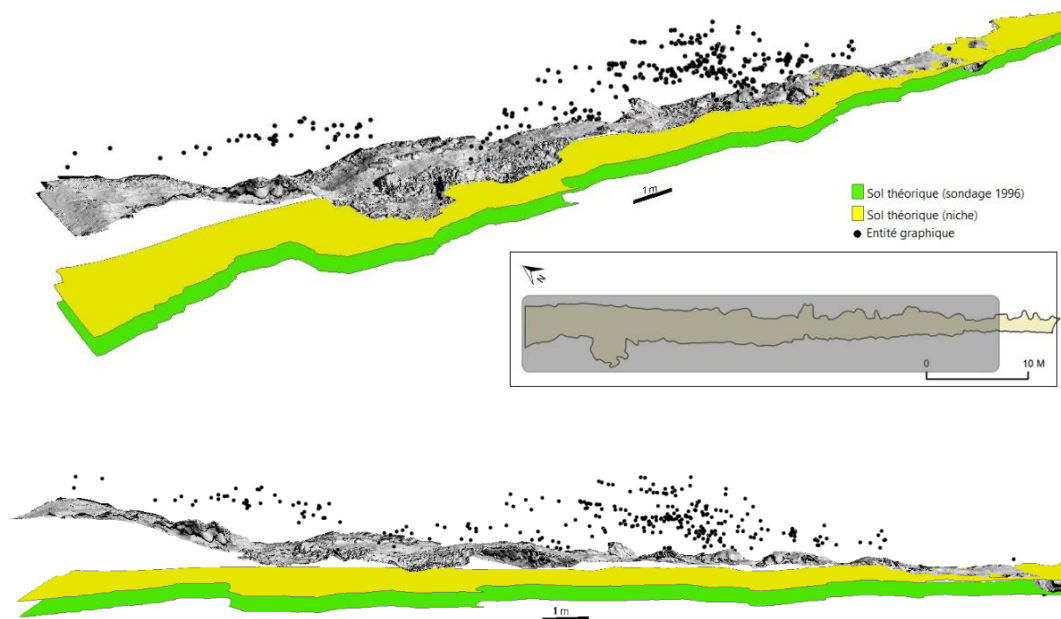


Figure 71 – Sol actuel et simulation des deux niveaux de sol (sondage et point le plus bas), L.Louman.

Chaque centroïde d'entité graphique est soustrait au niveau de sol actuel et aux deux niveaux des sols théoriques. Les valeurs du sol actuel et des deux sols théoriques sont ensuite récupérés et affichés sur le graphique (Graphique 12).

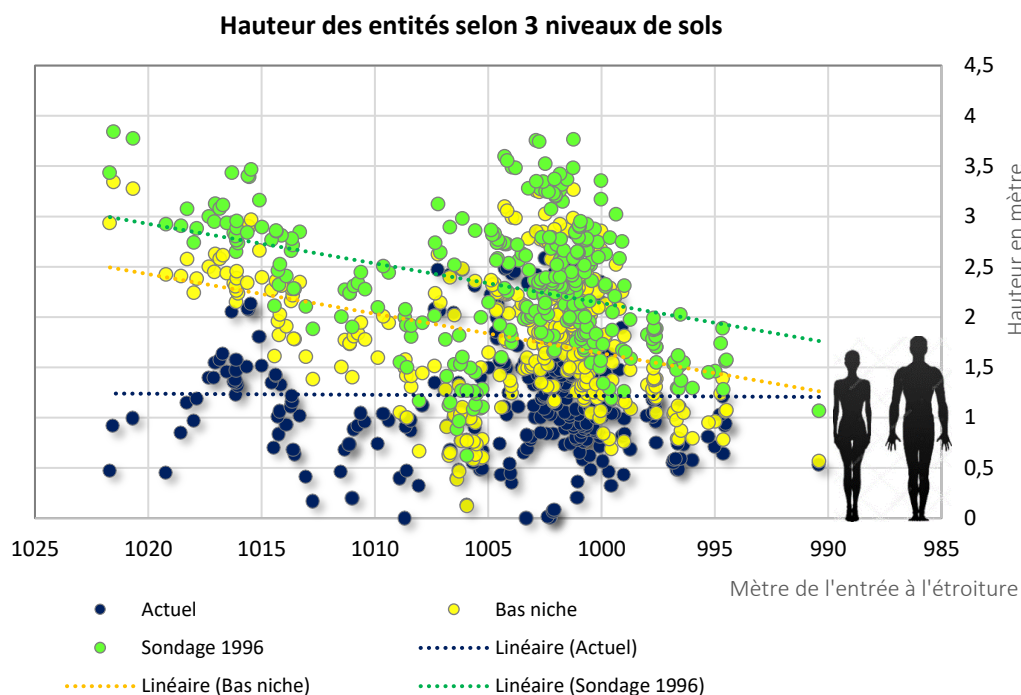
Les entités en bleu correspondent à un niveau de sol actuel, les entités en jaune sont les valeurs minimales de réalisation ayant existé et situées au pied de la niche à 16 mètres de l'entrée. Les entités en vert concernent le niveau du sondage de Sébastien Lacombe. La lecture de ces trois niveaux fait apparaître plusieurs types d'informations.

Le phénomène le plus évident affiche un pendage naturel proche du niveau actuel. En modélisant les sols plats, les axes des régressions linéaires de chaque distribution et des deux sols théoriques montrent des entités graphiques inclinées. Si les entités avaient été réalisées à partir d'un niveau droit comme nous l'avons simulé en vert et jaune sur la figure 76, l'orientation générale des entités suivrait alors un axe penché comme le montrent les deux axes du graphique 9 (Graphique 12). Cette information indique que la disposition des peintures suit un axe naturel certainement proche du pendage actuel.

Il est donc possible, que le pendage aujourd'hui marqué, ait également été présent au Paléolithique. La disposition générale des entités graphiques suit alors une déclinaison de l'entrée vers le fond de la grotte.

En ce qui concerne les hauteurs potentielles des entités graphiques, on constate dans la distribution actuelle que la hauteur de la courbe est située à moins d'un mètre. Cela paraît invraisemblable, car les entités sont fréquemment réalisées à hauteur des yeux car cela entraîne une position confortable aussi bien pour l'auteur

que le spectateur. Il y a donc une nouvelle fois une forte probabilité pour que le niveau du sol soit bien plus bas.



Graphique 12 – Distribution des entités graphiques niveaux de sols droits ou niveaux de sols théoriques.

3.7.3.4. - Les centroïdes associés à la matrice de Harris

L'une des voies permettant d'avancer sur la présence des niveaux de sols, reste l'association de ces niveaux avec la visualisation de la matrice de Harris.

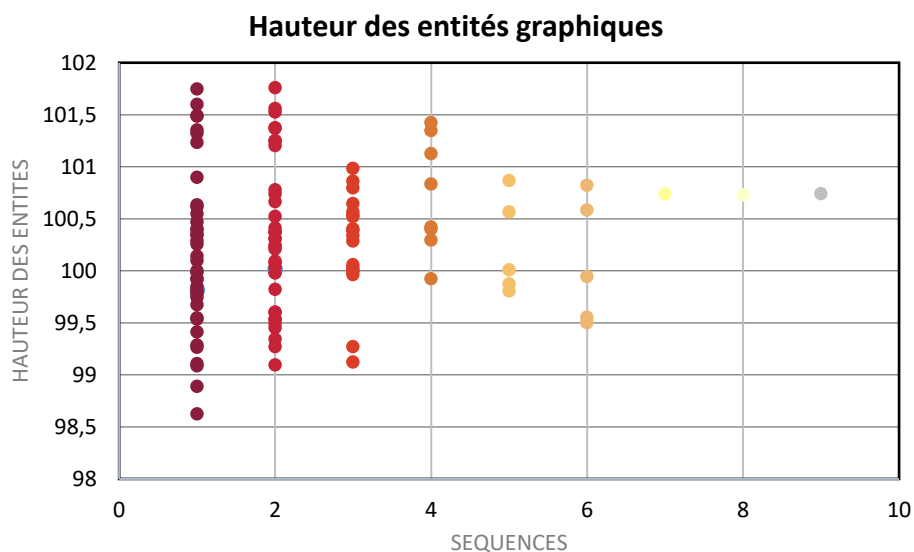
La hauteur de chaque entité peut être mise en relation avec chacune des séquences de la matrice. En admettant que la grotte ait connu plusieurs niveaux de sol durant le Paléolithique et que cela se soit manifesté sur la réalisation des entités, on devrait pouvoir observer, grâce à la mise en place progressive des figures sur la paroi, des tendances dans la distribution des hauteurs. Si des figures plus récentes avaient été réalisées sur des niveaux plus hauts, la présence d'éventuels remplissages rendrait plus accessible la partie supérieure du panneau.

Nous supposons alors que s'il existe plusieurs niveaux de sol, il serait possible de les déceler dans les dernières séquences. Si les superpositions progressives de figures s'effectuent dans les niveaux supérieurs de la grotte, ces niveaux devaient alors être accessibles avec les remplissages.

Les coordonnées Z des 141 entités présentes sur le Grand Panneau peint dans la matrice ont été affichées par séquences (Graphique 13). Les résultats de la dernière matrice produite sont récupérés, elle inclut alors 9 séquences.

La visualisation de la hauteur des figures ne montre pas des groupements de figures vers le haut ou vers le bas de la distribution.

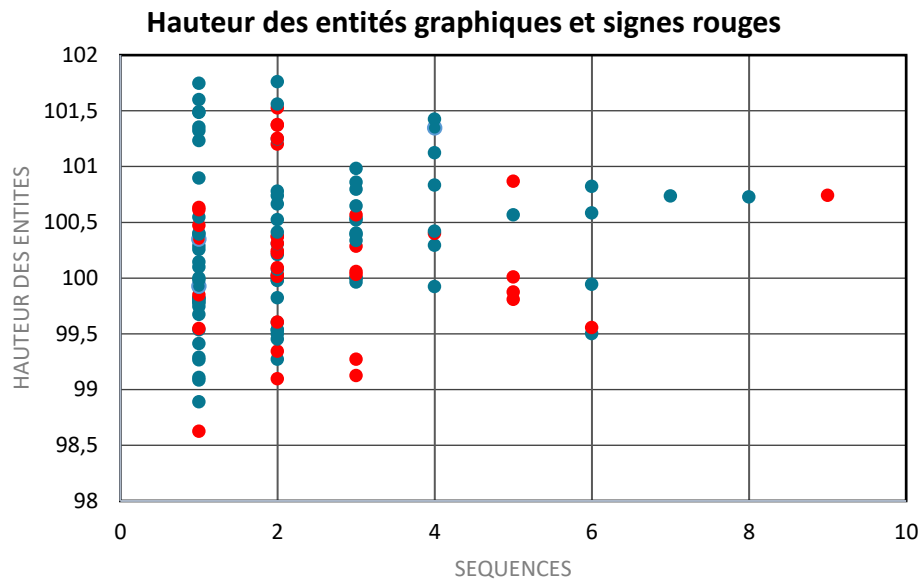
Pour observer la répartition des figures, nous mobilisons la répartition de la matrice de Harris et les phases de succession. Ainsi les 9 phases de hauteur de la matrice sur le Grand Panneau peint montrent que les valeurs extrêmes (maximales et minimales) sont atteintes dès la première et la deuxième séquence. Nous ne notons pas de tendances au regroupement d'entités dans des valeurs hautes.



Graphique 13 – Hauteur des entités graphiques par séquences.

L'observation de cette distribution laisse penser que le panneau ait été entièrement investi dans ces hauteurs maximales avec un même niveau de sol. Dans les séquences suivantes, les entités ne se polarisent pas réellement vers le bas ou le haut, mais s'inscrivent en continuité dans ces hauteurs.

Pour vérifier ce phénomène, nous sommes partis des mêmes hauteurs séquencées, mais en affichant la présence des signes peints en rouge. En modélisant ces peintures rouges par séquence, nous repérons non seulement que les signes se retrouvent dans chaque séquence, mais également que les hauteurs de ces signes se répartissent dans l'ensemble du panneau (Graphique 14). Ce qui suppose que lorsque les signes ont été réalisés, l'ensemble de la paroi était disponible durant toutes les phases d'exécutions et non comblée par des remplissages.



Graphique 14 – Hauteur des signes rouges par séquences.

Il n'y a pas de tendances de répartition dans les séquences sur les hauteurs, mais au contraire, plus les séquences se succèdent plus entités se répartissent variablement sur les entités déjà présentes. Cette observation nous permet d'avancer l'idée que l'ensemble de la paroi était bien disponible pendant l'ensemble des réalisations et que les séquences sont le résultat d'une composition.

Nous ne pouvons pas dégager de phases ornementales, mais au contraire Le Grand Panneau semble investi globalement dans ces hauteurs dès les premières phases. Les signes rouges présents du haut et du bas viennent renforcer cette idée. Il semble que les phases ornementales de la cavité proviennent d'un seul niveau d'occupation. Si ces résultats se confirment, cela pose la question directe des modalités d'investissement du registre supérieur. Si l'ensemble de la surface était disponible à un moment donné, un appui ou un aménagement aurait été forcément nécessaire pour atteindre les parties les plus hautes.

3.8. - Apports des SIG portés à l'étude chronospatiale de l'art pariétal

3.8.1. - Une construction symbolique élaborée

Dans l'étude des parois de Marsoulas, de nombreux auteurs ont mentionné leur point de vue concernant l'organisation des figures. Aleth Plénier, dans sa thèse évoque une distribution des figures hasardeuses (Plénier, 1971). Alors que le caractère organisé des peintures de la grotte est démontré dans les travaux les plus récents (Fritz et Tosello, 2004). Denis Vialou mentionne aussi une alternance des figures maîtresses, de figures plus isolées et la présence de grands panneaux

centraux (Vialou, 1986). Pascal Foucher, dans son étude en double aveugle conteste également les travaux d'Aleth Plénier (Foucher, 1991).

C'est par l'étude des liaisons thématiques, des reliefs, de la localisation des figures que les auteurs se sont attachés à comprendre comment la cavité a été occupée. Notre démarche n'est pas de créer un modèle probabiliste, mais d'offrir des moyens méthodologiques pour questionner l'ensemble de ces paramètres et de pouvoir ainsi les restituer : positions topographiques, des figures, signes et relief.

La première méthode mise en place via le SIG 3D nous a permis de discuter et de restituer l'organisation spatiale des entités graphiques. C'est en mobilisant la cartographie thématique, les géotraitements et les requêtes spatiales que nous avons démontré les éléments suivants :

- la relation entre la taille de la figure, l'espèce et la technique employée,
- la composition délibérée autour de figures structurantes (bison),
- la superposition et regroupement privilégiés par comparaison à la surface vide,
- les pics graphiques et corrélations entre les tracés indéterminés, signes et bestiaire,
- le jeu de réponses entre les panneaux créant une continuité graphique.

Ce travail nous a aussi amenés à proposer un nouvel indice pour l'exploitation des inventaires d'art paléolithique : l'impact visuel. En raisonnant en espace occupé à la manière des modes d'occupation du sol, nous livrons un schéma alternatif des présences thématiques de la grotte. Ces calculs de surface ont permis de déterminer le taux des superpositions comme un élément volontaire et extrêmement présent compte tenu de l'espace disponible. La visualisation de ces répartitions des surfaces montre l'aspect très structuré et composé des panneaux. Les entités de grandes tailles se déploient dans les hauteurs, de part et d'autre du panneau. Les petites entités sont alors polarisées par les grandes figures de bisons²⁴.

Le mode de représentation du déroulé graphique, en conservant la topographie, s'inscrit dans une longue tradition cartographique de l'art préhistorique. Grâce au découpage de la grotte en section, nous avons questionné la présence des figures afin d'observer la distribution des thématiques. Cette distribution a mis en évidence la continuité des panneaux dans le dispositif de l'entrée à l'étréouiture, par des jeux de réponses entre les parois de gauche et de droite. Cela a déjà pu être observé pour les grottes-couloirs (Fond de Gaume, Combarelles, Pergouset). Au-delà de cette résonance, nous remarquons des pics graphiques d'emplacement, aussi présent à

²⁴ Robert Simonnet parle de bisons-cadres pour qualifier ces figures.

gauche qu'à droite de la paroi. Ces distributions ne sont pas aléatoires, mais au contraire elles présentent une organisation confirmée par les tests de corrélation.

La répartition des entités avec la morphologie du relief a également été questionnée. Cette analyse a permis de comptabiliser le nombre de figures par type de registre. Les résultats de ces analyses rejoignent les constats déjà observés : le relief a été utilisé, de manière non systématique, mais plutôt opportuniste (Fritz et Tosello, 2016b). Les différentes formes du relief, concaves, convexes, planes, aspérités sont investies de manière très libre sans aucune recherche particulière.

L'ensemble des analyses tendent à démontrer une construction linéaire et disposée en miroir dans la première partie de la grotte. Des entités communiquent au-delà des deux parois comme ce signe barbelé sur la paroi de gauche (sur le Grand Panneau peint) qui se reflète sur la paroi de droite (Figure 72).

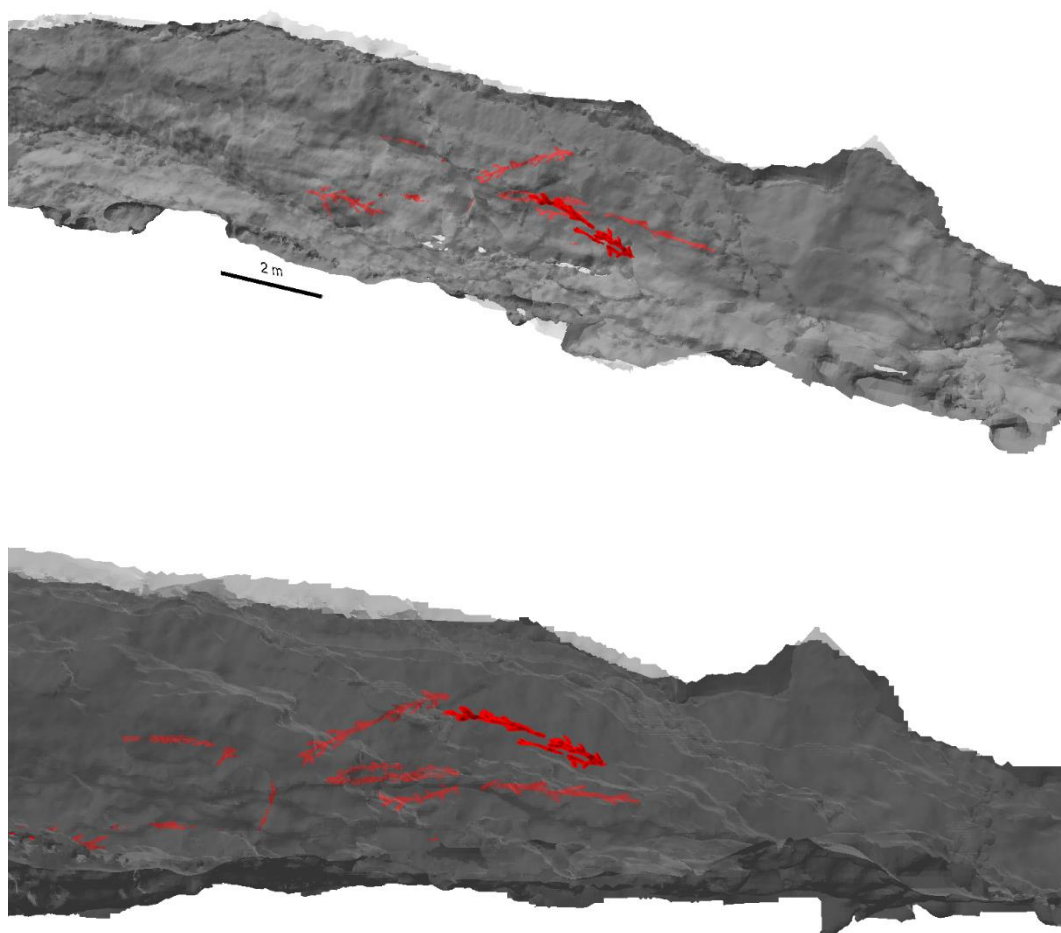


Figure 72 – Signes barbelés en miroir paroi de gauche et paroi de droite (vue de derrière la paroi droite), L.Louman.

Ces particularismes graphiques renforcent l'idée que la grotte est conçue comme un ensemble. L'analyse se détache alors de l'image du palimpseste initialement

mentionné. Si certaines zones sont surinvesties graphiquement il s'agit ainsi d'une volonté, car l'ensemble de la paroi était bien disponible et ne démontre pas que le relief ait conditionné cette distribution. Seuls des aspects conservatoires sur la paroi de droite peuvent nuancer cette vision. Il est effectivement possible que beaucoup plus de gravures étaient présentes sur la paroi de droite et sont aujourd'hui invisibles ou localisées sous des blocs au sol.

3.8.2. - Restituer la stratigraphie pariétale

En art préhistorique, la mise en évidence de la contemporanéité des figures entre elles reste complexe. Contrairement à l'archéologie des sols, où un même niveau archéologique peut permettre une lecture de l'association des vestiges, dans le domaine de l'art préhistorique la lisibilité des liens entre les figures est plus difficile à réaliser. Pour ces études sur parois ornées, la matrice de Harris est fréquemment utilisée. Cependant, la lecture globale de la matrice se complexifie quand les entités sont très nombreuses, comme c'est le cas à Marsoulas. La mise en forme de ces résultats en cartographie 2,5D a permis de décomposer la matrice et d'observer la mise en place des figures sur la paroi. À partir de ces constats, plusieurs critères ont été explorés, et de nouveaux liens ont été établis, avec les tics de réalisation ou la présence des signes rouges. Les résultats de ces analyses mettent en évidence que malgré l'hétérogénéité des techniques, les superpositions apparaissent plus comme une volonté graphique qu'un véritable changement produit par un groupe culturel postérieur. Malgré les différentes analyses, aucun changement clair n'a pu être montré sur le plan formel, technique, ou au niveau de la composition. Au contraire, cette diversité graphique semble potentiellement le produit de plusieurs phases, mais appartenant à un groupe culturel ce qui contraint nos capacités à les distinguer. Si des changements ne sont apparents, nous pouvons supposer que ces phases de superpositions postérieures se sont alors inscrites de manière analogue dans les réalisations déjà présentes.

3.8.3. - Modélisation des opérations anciennes

La restitution planimétrique des anciennes opérations a permis d'évaluer l'incohérence des sources et la difficulté d'un repositionnement des opérations mentionnées par les auteurs. Si la démarche s'est révélée infructueuse sur la question des niveaux de sols, elle a au moins souligné les lacunes des sources et a offert une lecture visuelle plus claire des différentes opérations de fouilles menées sur le site. Cette démarche pourra s'avérer plus concluante sur d'autres sites. Quelques pistes de réflexion ont néanmoins été ouvertes. Le résultat le plus fiable

est la présence d'un pendage, semblable à celui présent dans la configuration actuelle. Les entités sont organisées autour d'un axe démontré par la régression linéaire. Les entités, en paroi gauche et droite, suivent un même alignement. Ces observations renforcent la vision d'une conception d'ensemble des réalisations.

Le second résultat concerne l'observation des hauteurs des centroïdes des entités graphiques associées aux séquences de la matrice de Harris. Ils n'ont pas permis de distinguer d'éventuels niveaux de sol. Les hauteurs maximales et minimales s'organisent, il n'y a pas de tendance graphique à la polarisation, mais les hauteurs semblent atteintes à tout moment dans la séquence. Aujourd'hui les signes rouges contemporains sont un marqueur suffisamment important pour démontrer que durant leur réalisation l'ensemble des hauteurs de la paroi (sous le niveau de sol actuel et jusqu'à 2,5 mètres de haut) ont été atteintes. La paroi de gauche semble investie dès les premières phases dans les hauteurs maximales et minimales.

Des études doivent être poursuivies dans ce sens, mais la lecture démontre un investissement graphique global, structuré et assez homogène qui arrive relativement tôt dans la phase d'occupation de la grotte y compris dans les hauteurs maximales. Cela ouvre alors directement la question des modalités d'accès à ces niveaux supérieurs.

3.9. - Conclusion

Ces résultats convergeant, nous amènent aujourd'hui à considérer que les entités graphiques en paroi sont le produit de phases ornementales appartenant à un même horizon culturel. Si les panneaux sont le produit de plusieurs épisodes de fréquentation, il y a une volonté de s'inscrire dans l'existant. Malgré l'ensemble des tentatives analytiques menées pour distinguer des sous-ensembles sur les critères spatiaux, graphiques et stratigraphiques, aucun changement de phases ou sous-groupes graphiques distincts n'a pu être démontré.

Nos résultats rejoignent les études actuellement menées : « *L'abondance des œuvres, dès l'entrée jusqu'au fond, et les superpositions denses de figures suggèrent une mise en place du dispositif pariétal étalée dans le temps, sans qu'on perçoive toutefois de rupture stylistique. Il semble que le décor ait été élaboré en plusieurs étapes, participant à une même unité culturelle* » (Fritz et Tosello, 2007, p.28). Les datations C14, les études d'industrie lithique, osseuse, mais surtout l'étude des pièces d'art mobilier renforcent la lecture du niveau archéologique principal en liaison avec les productions graphiques en paroi (Fritz et Tosello, 2019).

L'étude spatiale entreprise sur la grotte de Marsoulas doit être nuancée, car elle a été menée que sur une seule partie de la grotte. Seule l'extension de notre travail sur l'ensemble de la grotte devrait permettre de confirmer ou d'affiner les observations déjà menées.

Notre démarche pour l'étude de Marsoulas a été heuristique et exploratoire. Nous avons, avec les tests et les modélisations, réalisé différentes observations qui nous permettent de présenter des résultats. Ce travail s'appuie entièrement sur le travail de relevé graphique et sans cette étude archéologique préalable des parois, les analyses spatiales n'auraient pas pu être réalisées. Il s'inscrit donc en continuité des recherches actuellement menées.

Le SIG proposé se manifeste de manière immersive, pour comprendre et visualiser l'information ; analytique dans d'autres cas pour effectuer des requêtes, pour apporter de nouvelles sources d'information enfin il a surtout permis de visualiser des résultats par la cartographie. Grâce aux outils 3D et aux SIG nous avons pu dématérialiser la grotte, visualiser l'information collectée, établir des liens entre les données, tester également des hypothèses et cela de manière non invasive. Cela a ouvert la discussion sur la temporalité et une évaluation sur la qualité des sources. C'est une tentative d'approche d'un système de raisonnement 4D qui a été mené, dont l'objectif visait à interroger des données quantitatives et qualitatives dans un environnement 3D. Un SIG 4D, inclant la dimension temporelle, a donc encore plus de chances de fournir aux archéologues une image fiable des archives archéologiques, en mettant en lumière non seulement les relations spatiales entre les contextes, mais aussi la diachronie de ces derniers. Le SIG 4D reste un système idéal pour établir toutes ces connexions passées et présentes. Son intérêt est de restituer les données anciennes sur les modèles numériques actuels, mais également d'ouvrir tout un champ de simulation (Richards-Rissetto, 2017).

L'objectif d'un SIG 4D est de faciliter le travail dans un environnement 3D en croisant, annotant l'information au sein même de cet environnement, pour restituer des contextes passés. Ce courant de l'archéologie offre de nombreuses fenêtres et perspectives pour croiser les données archéologiques de manière non invasive, pour à terme développer des solutions BIM. Le BIM, dans sa forme SIG, devient aujourd'hui compatible avec les logiciels Autodesk et permet d'utiliser beaucoup plus simplement des formes 3D. L'objectif de ce travail visait à montrer l'étendue des résultats apportée par les SIG, au-delà de la simple visualisation de données. Ils sont une solution transitoire, en attendant l'arrivée de systèmes de visualisation plus avancés. Ainsi, c'est avec l'expérimentation de plusieurs méthodes compatibles que nous avons pu croiser l'information en stratigraphie, en paroi et au sol.

Toutefois ce travail comporte de nombreuses limites. Les solutions logicielles SIG restent aujourd'hui très limitées pour la gestion du 3D, rendant les possibilités de traitements minimalistes, compliquées et surtout très chronophages. La mise en place de méthodes comporte alors un workflow de passage entre plusieurs solutions logicielles qui fonctionnent, mais qui ne sont pas fluides et restent contraignantes dans leur mise en œuvre. Toutes les possibilités de ces méthodes n'ont pas été traitées, par manque de temps, aussi chacune d'elles est perfectible. Pour l'étude des parois, par exemple, nous nous sommes focalisés sur les données anthropiques et non sur les aspects taphonomiques et conservatoires. Cet aspect, nous avons souhaité le traiter au début de notre recherche, nous avons dû renoncer à cause de la complexité des états de parois qui outrepassait nos compétences actuelles et nous aurait demandé trop de temps.

Dans l'étude spatiale menée, la démarche utilisée a été plus quantitative voire statistique, qu'une approche qualitative des figures. Ainsi ces travaux ont cherché à développer des méthodes pour construire une archéologie verticale et c'est le SIG qui a été mis à profit de la compréhension des relations métriques et stratigraphiques. Cet outil et l'analyse spatiale auraient également pu également être appliqués avec une approche plus formelle et stylistique, sous le prisme de la composition, des critères stylistiques, des scènes voire de l'animation des figures. D'autres critères analytiques auraient aussi pu être intégrés pour comprendre cette organisation. Cela reste des pistes d'exploration ouvertes et à développer.

4.- DE LA TRACE À LA PRATIQUE SPATIALE : UNE ANALYSE DES MARQUES PARIÉTALES DE LA GROTTTE CHAUVET (ARDÈCHE, FRANCE)

4.1. - Introduction

Grâce aux progrès de l'archéologie moderne, les archéologues se focalisent sur les traces, même les plus ténues, témoignant de la présence humaine. Les recherches sur les sites emblématiques, comme par exemple à Pompéi, montrent désormais l'importance de la documentation « des petites traces » et graffiti pour la compréhension du quotidien des populations. En ce qui concerne le Paléolithique, dans le domaine des grottes ornées, l'intérêt pour ces objets d'étude n'est pas nouveau, mais connaît un élan depuis une trentaine d'années (Clottes et Courtin, 1994).

Dans notre recherche, nous nous sommes concentrés sur les traces de colorant. Elles sont omniprésentes dans les cavités dès l'Aurignacien, mais leur fonction au sein du dispositif pariétal, même si de nombreuses hypothèses ont été avancées, reste encore à déterminer. Notre objectif est double, tout d'abord il s'agit d'étudier, avec l'analyse spatiale, la répartition de ces traces de colorant, dans leur contexte, pour discuter de leur fonction. Ensuite, nous évaluerons les résultats de l'analyse spatiale pour vérifier si cette méthode offre des réponses à ce type de problématique.

C'est, par ailleurs, la pratique et les comportements spatiaux qui sont plus largement questionnés dans notre étude. Ces traces anthropiques ont un statut particulier dans les cavités, elles renseignent sur le déplacement, les cheminements, les passages, l'orientation des individus. Elles apportent ainsi un regard sur la dynamique spatiale de la grotte ornée, informent sur les zones investies, sur la fonction de certains espaces ou du type de fréquentation.

Nous formulons alors l'hypothèse qu'une investigation spatiale nous aidera à documenter ces marques et ces traces. Notre analyse va s'effectuer dans la première partie de la grotte Chauvet et non sur son ensemble. Ce corpus réduit limitera notre démarche interprétative, mais offrira des pistes méthodologiques permettant de mieux les appréhender. Cette partie du travail va s'organiser en trois temps :

Dans un premier temps, nous reviendrons sur l'histoire de l'étude des traces, le cadre de définition et les principales hypothèses avancées. Nous proposerons un cadre méthodologique et détaillerons les principales difficultés que pose l'étude de cet objet. Le corpus sera par la suite analysé, la cartographie et les questions de localisation tiendront une place majeure dans la caractérisation de ces types de traces.

Dans un deuxième temps, nous nous intéresserons au contexte, à la grotte et aux moyens de sa description. Pour cela, nous nous affranchirons des terminologies proposées pour mieux saisir les descriptions d'espaces ouverts et fermés formulées par les préhistoriens. Nous proposerons alors une nouvelle lecture spatiale sur la

notion de contrainte de circulation. Ce résultat cartographique permettra de comparer les différents espaces pour mettre en évidence les zones faciles d'accès et celles qui présentent des obstacles majeurs. Cette lecture s'appuiera sur l'analyse multicritère.

Dans un troisième temps, la répartition des traces de colorant sera confrontée à la nouvelle lecture cartographique. Ces résultats permettront d'observer les zones où les traces ont été découvertes pour les comparer aux zones ornées de la grotte. C'est, dans une dernière partie, que leur rôle et leur fonction pourront être discutés.

4.2. - Les traces de colorant : un cadre de définition

4.2.1. - De l'historique vers un cadre de définition

En marge des panneaux ornés, il existe une diversité de témoins anthropiques qui traduisent de l'activité humaine, ce sont par exemple les dépôts d'objets, traces de pas, et marques charbonneuses. Des manifestations plus liées au registre graphique sont aussi présentes, parmi elles nous trouvons les traces de colorant.

Dès 1924, les auteurs comme Henri Bégouën ou Henri Breuil mentionnent la présence de ces traces qui ne sont pas des figurations et qui pourtant se découvrent fréquemment dans les ensembles graphiques (Bégouën, 1924 ; Lemozi, 1929 ; Breuil, 1952a). Si à cette période, leur étude n'est pas un sujet d'investigation précis, elles seront ponctuellement mentionnées parmi les manifestations graphiques. Ces traces de colorant sont sujettes à une grande variabilité formelle, les auteurs les présentent comme des tracés indéterminés, catégorie de l'art paléolithique qui comprend un « magma informel » de « manifestations polyformes, dépourvues d'esthétisme » (Lorblanchet, 1993b, p.235). Cette classe comprend alors des tracés, des plages de gravure, des projections d'argile dont la fonction nous échappe (Lorblanchet, 1989 ; 1993b ; 2003). Dans les années 1994, José Sanchidrián-Torti, suite à la découverte d'une quantité de traces dans la grotte de Nerja, leur consacre une terminologie précise pour mieux les appréhender (Sanchidrián-Torti, 1990).

Depuis ses premiers travaux dans le Lot, jusqu'à la publication monographique de 2010, Michel Lorblanchet, a toujours accordé, dans ses recherches, de l'importance à l'étude de ces marques pariétales (Lorblanchet, 1973 ; 1990 ; 1993 , 1994 ; 2010). Sa mécanique précise de relevé, l'amène à travailler sur toutes les manifestations y compris les plus ténues. Dans les grottes du Lot – Pech-Merle, Cougnac, les Fieux –, il décrit des centaines de traces : des frottements, des onctions, et des maculations réalisés au colorant rouge (Lorblanchet, 2010 ; 2016 ; 2020). Il entreprend alors un répertoire précis de ces manifestations à travers les types de gestes et leur intensité. Dans un article de 2010, Romain Pigeaud présente une synthèse des types de traces.

Il mentionne la présence de frottements de colorant et empreintes digitées, qu'il retrouve, par ailleurs, à Arcy-sur-Cure et Mayenne-Sciences (Pigeaud, 2001 ; 2004 ; 2005 ; 2010). Au-delà de ces travaux spécifiques, ce sont de nombreuses attestations récentes qui viennent compléter ces recherches : Arcy-sur-Cure, Ardales, Altxerri, Deux Ouvertures, Cosquer, Cussac, Cougnac, El Castillo, Enlène, Etxeberri, La Garma, La Lloseta, La Pasiega, La Peña de Candamo, Los Márquez, Lumentxa, Morrón, Marsoulas, Mayenne-Sciences, Nerja, Niaux, Orival, Oxocelhaya, Pech-Merle, Roucadour, Tito Bustillo (Vialou, 1986 ; Sachidaran, 1994 ; Bégoüen, 1996 ; Martin, 1998 ; Pigeaud, 2001 ; 2004 ; Balbín Behrmann *et al.*, 2005 ; 2017 ; Clottes *et al.*, 2005 ; Cantalejo, 2006 ; Monney *et al.*, 2010 ; Corchón *et al.*, 2010 ; 2011 ; Arias *et al.*, 2011 ; Labarge, 2012 ; Medina-Alcaide *et al.*, 2016 ; 2018 ; 2020 ; Ledoux *et al.*, 2017 ; Lorblanchet, 2010 ; 2020 ; Sanchidrián-Torti *et al.*, 2018).

Depuis ces vingt dernières années, les travaux de la présence humaine par l'analyse des traces et marques pariétales prennent une nouvelle dynamique. En effet, aujourd'hui les protocoles de collectes systématiques de l'information permettent d'aller plus loin dans l'étude des contextes internes des grottes. Et ce sont aussi les outils numériques qui augmentent le potentiel de la documentation de ces objets discrets en facilitant leur repérage. Les traces deviennent alors des objets transversaux, intégrées dans différentes disciplines, sous des termes différents : « TrAcs » (traces d'activité humaines et animales) ; « traces d'activité » ; « ichtnologie », « étude du contexte interne » ; « paléospéléologie » (Aujoulat, 2005b ; Le Guillou, 2005 ; Peyroux, 2012 ; Ledoux *et al.*, 2017 ; Medina-Alcaide *et al.*, 2018). Même si les paléontologues, les archéologues, les spéléologues et topographes caractérisent les traces en fonction de leur discipline, la trace devient un objet interdisciplinaire nécessitant une compréhension globale de la fréquentation humaine de la grotte comme de sa topographie. Ces traces s'inscrivent dans une dynamique de la compréhension de la fréquentation : « dans l'étude spatiale des traces humaines, on distinguera les incursions isolées des fréquentations intenses et prolongées (habitat, vestiges épars, empreintes) » (Clottes, 1993b, p.56). Les recherches sur les traces engagées offrent un riche champ d'investigation pour analyser les déplacements et l'orientation des humains dans les cavités. Au regard de ce panorama, si leur étude apparaît limitée sur le plan formel, la localisation de ces traces reste une perspective intéressante à examiner.

Appréhender ce type d'objet d'étude reste complexe, car au-delà de sa variabilité formelle, les traces recouvrent des appellations différentes dans la littérature. Cette absence de normalisation fait difficilement rentrer les traces dans les typologies traditionnelles. Notre objet d'étude portera donc sur l'ensemble des taches de colorant, sans volonté figurative. Cette classification comprend alors une diversité

de gestes à partir du moment où ils sont visibles et qu'ils résultent d'un contact de colorant avec une surface rocheuse. Cette définition large comprend des appuis légers de phalangettes au badigeonnage sur de larges surfaces. Nous éliminerons les taches accidentelles comme les aspersion ou les coulures de colorant qui appartiennent au répertoire de l'exécution graphique (Groenen, 2018 ; Pigeaud, 2005).

4.2.2. - Les hypothèses fonctionnelles

Les traces de colorant ont fait l'objet de nombreuses interprétations. Si leur étude formelle est quelquefois limitée, leur lecture spatiale a néanmoins entraîné plusieurs hypothèses fonctionnelles qu'il convient de présenter.

4.2.2.1. - Le marquage

Le marquage est l'hypothèse avancée pour les signes simples et marques de colorants isolés des grands ensembles pariétaux. Constitués de points, ponctuations ou des tirets parallèles, tracés digités, taches de colorant, ces éléments se retrouvent fréquemment sur des points topographiques remarquables comme des blocs ou des stalactites. Ils sont interprétés dans la littérature comme des marques de balisage ou de signalement. C'est André Leroi-Gourhan, en 1958, dans son étude sur les signes, qui suggère l'idée que ces marques ne guideraient pas la continuité d'un trajet, mais seraient des éléments annonceurs d'une particularité topographique : *« Ce qui reste sensible tient à l'unité du dispositif fonctionnel avec ses marques d'entrée et de fond, ses " marques d'avertissement " et ses surfaces à contours inachevés. » [...] « La zone qui marque le début du sanctuaire est indiquée, dans un grand nombre de cas, par des points ou des traits, peints ou gravés. La constance de ces signes d'entrée est ce qui m'a frappé au début de mes recherches. Nous nous sommes très rapidement rendu compte de l'apparition régulière de ces points et bâtonnets, non seulement à l'entrée de la zone décorée, mais aux changements topographiques comme étroitures, les tournants, les entrées de salles et la fin de ces ensembles décorés, dans le dernier cul-de-sac ou après les derniers sujets réalistes, lorsque la cavité se poursuit sans décor »* (Leroi-Gourhan, 1958c, p.320).

Denis Vialou évoque également cette interprétation pour la grotte de Niaux où les marques visent à informer et à dicter la circulation future. Il s'agirait d'indicateurs renseignant sur l'ornementation à venir, ce qui renvoie à une forme de signalétique (Vialou, 1981). Pour Denis Vialou, ces marques répondent à une structuration de l'espace qu'il distingue en trois types : les espaces de circulation obligée (l'entrée, les salles et les galeries ornées) ; les espaces d'arrêt et de retour sur ses pas (cul-de-

sac) ; les espaces de retour obligé (fonds de salles et de galeries) (Vialou, 1999, p.265). Romain Pigeaud va plus loin dans cette hypothèse, en expliquant que ces marques résulteraient d'indications sur les changements et accidents topographiques (Pigeaud, 2004) (Figure 73).

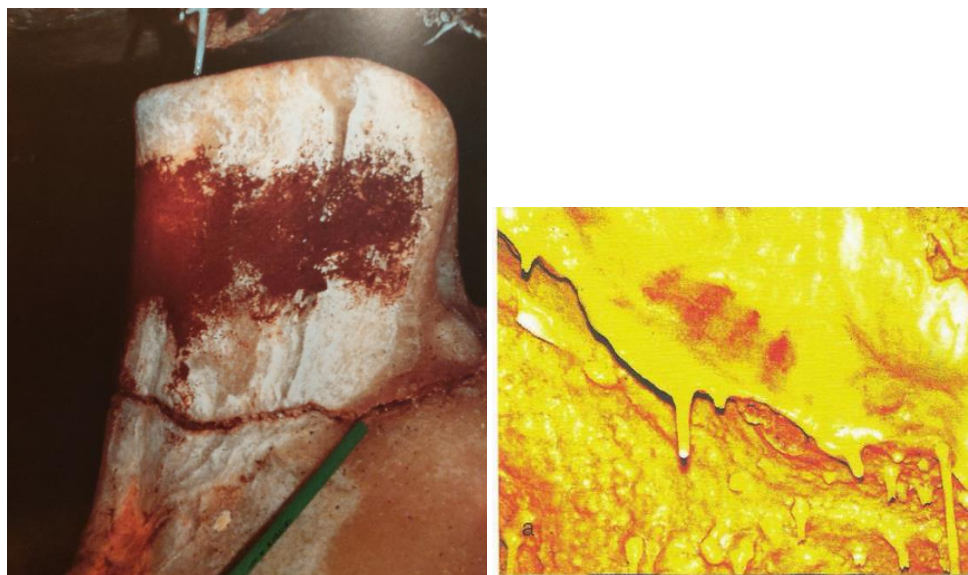


Figure 73 – Entités graphiques qualifiées de « marques topographiques » par les auteurs. Grotte de Mayennes-Science (Pigeaud, 2005) et Grotte de Cosquer, (Clottes *et al.*, 2005).

Elles joueraient un rôle de guide dans la grotte. La mention de marques topographiques se retrouve dans plusieurs monographies de site et articles comme pour la grotte Cosquer, la grotte de la Peña, ou de la Lloseta (Balbín Behrmann, *et al.*, 2005 ; Clottes *et al.*, 2005 ; Corchón *et al.*, 2011). C'est une hypothèse largement considérée, certains auteurs mentionnent même que la position de ces marques ont permis de découvrir de nouvelles entités graphiques : « *Fréquemment ce sont les signes qui nous parlent de quelque chose de très difficile ou d'impossible de trouver à l'époque actuelle. C'est en suivant ces indices que nous avons localisé des restes artistiques dans toute la grotte* » (Balbín Behrmann *et al.*, 2005, p. 567).

4.2.2.2. - Le contact involontaire avec la paroi

Une autre hypothèse soutient que les traces de colorant pourraient être des vestiges de contact sur la paroi. Ce sont des traces de contact de vêtements, de peau ou de mains ocrées sur le karst. Elles présentent des formes évanescences, diffuses qui peuvent être inframillimétriques ou organisées en aplat dans des endroits précis de la cavité. Dès 1924, Henri Bégouën mentionnait ces traces comme des contacts de vêtements (Bégouën, 1924). Cette hypothèse a été évoquée par Robert Simonnet et mentionnée régulièrement dans la littérature archéologique. Dans la grotte des Deux Ouvertures, des traces d'ocre se retrouvent sur des cheminements contrariés comme

des endroits bas ou nécessitant le passage et le contact obligatoire avec la roche. Ces traces se manifestent notamment sur des arêtes saillantes où la circulation est difficile (Monney *et al.*, 2010 ; N. Lateur, communication personnelle). Une étude effectuée sur quatre grottes, françaises et espagnoles, (Etxeberri, Lumentxa, Morrón et Nerja) a également montré que l'emplacement des traces était lié à des zones de passage du corps (Medina-Alcaide, *et al.*, 2016 ; Sanchidrián Torti et Medina-Alcaide *et al.*, 2018) (Figure 74). Certains de ces frottements répétés peuvent conduire à la formation de zones denses en colorant.

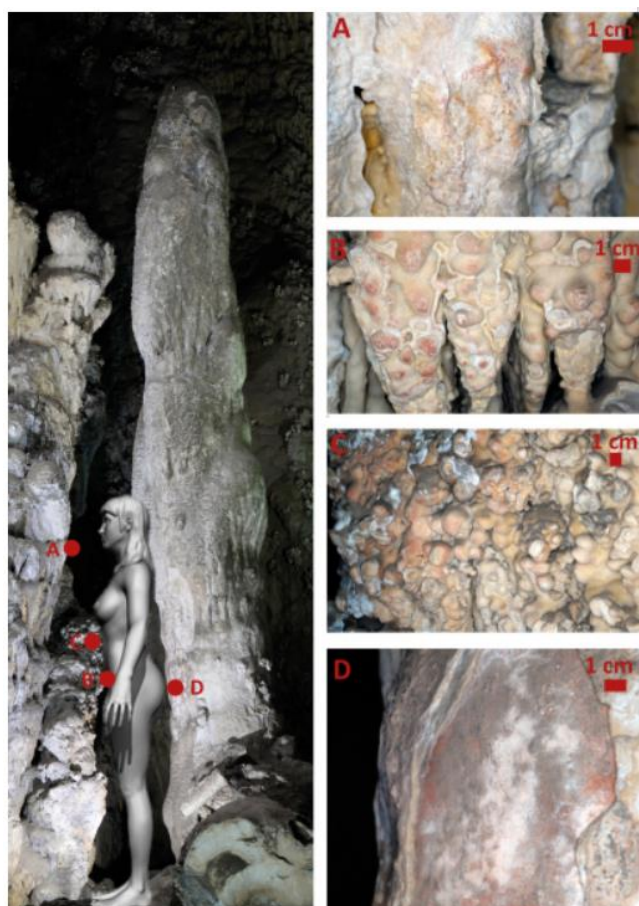


Figure 74 – Traces rouges confrontées au passage d'un corps dans la grotte de Nerja (Sanchidrián Torti et Medina-Alcaide *et al.*, 2016).

À la grotte Cussac, de légers maculages millimétriques sont décrits comme résultant de contact de vêtements ou de mains sur la paroi (Ledoux *et al.*, 2017). Dans l'étude de la première partie de Chauvet, sur le massif de la Gloriette situé dans la salle Brunel, certaines de ces traces sont aussi interprétées dans ce sens (Feruglio et Baffier, 2012).

4.2.2.3. - Les marques spontanées

D'autres hypothèses s'appliquent à des taches souvent informes, résultant de frottements et de contacts volontaires. Michel Lorblanchet les interprète comme des

« marques rituelles » (Lorblanchet, 2010) (Figure 75). Ces marques spontanées se caractérisent par des onctions, des frottements de doigts enduits sur la paroi laissant des tracés informels colorés. Dans la grotte de Cougnac, Roucadour, les Fieux, ces marques sont accumulées à des endroits clés de la cavité (Lorblanchet, 2010 ; 2020). Romain Pigeaud se rattache à cette interprétation pour la grotte de Mayenne-Sciences (Pigeaud, 2005). Ces marques sont potentiellement une recherche intime de contact avec la paroi ou avec une figure animalière déjà exécutée.

Dans ce répertoire de marques spontanées, on peut également mentionner le cas des animaux marqués. Il existe tout un registre de signes simples et de marques qui interagissent avec les figures animales durant le Paléolithique (Igarashi, 2003 ; Igarashi et Floss, 2019). Il existe des signes élaborés « types barbelés » associés aux figures, mais également tout un répertoire de marques, de tracés, d'appuis de doigts qui peuvent être localisés sur des parties anatomiques des figures animales. Gilles Tosello et Carole Fritz ont souligné la présence de ces marques sur des représentations dans le secteur des Chevaux de la deuxième partie de la grotte Chauvet (Baffier et Feruglio, 2001 ; Fritz et Tosello, 2005).

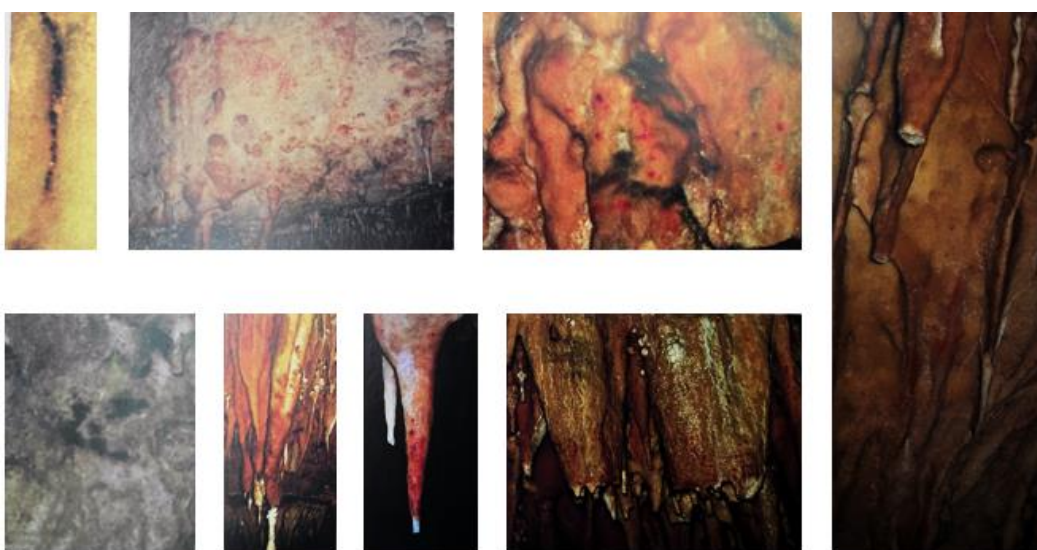


Figure 75 – Ensembles de traces rouges dans la grotte de Cougnac (Lorblanchet, 2010).

4.2.2.4. - Les explorations ou préconception ornementale

Une dernière interprétation a été formulée après l'étude de la grotte d'Ardales en Andalousie. Dans cette grotte des quantités de traces, points et bâtonnets ont été retrouvés par dizaine, sur de formes géologiques différentes et dans l'ensemble des secteurs (Figure 76, Figure 77). Cet ensemble graphique, selon l'auteur, est le résultat d'un travail d'exploration et de prérepérage de l'espace. Cette diversité d'éléments

serait le reflet d'une conception élaborée, préétablie pour disposer, dans un second temps, les dessins dans l'espace (Cantalejo, 2006)²⁵.

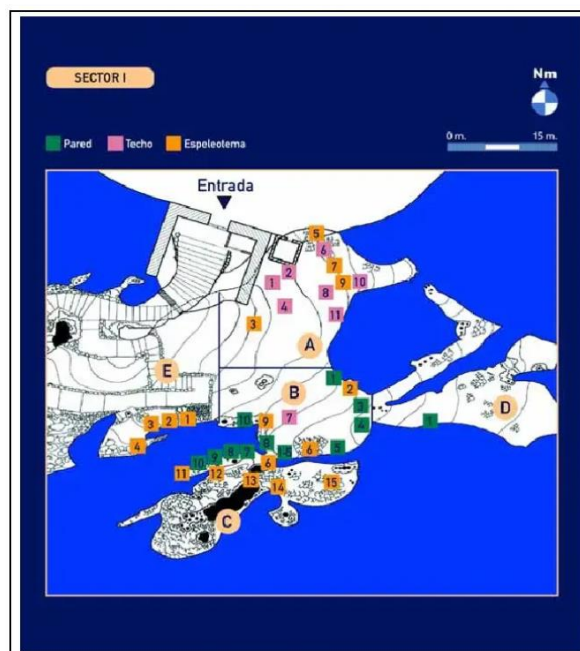


Figure 76 – Carte du secteur 1 de la grotte d'Ardales. Répartition des traces rouges sur paroi, plafond et spéléothèmes (Cantalejo, 2006).

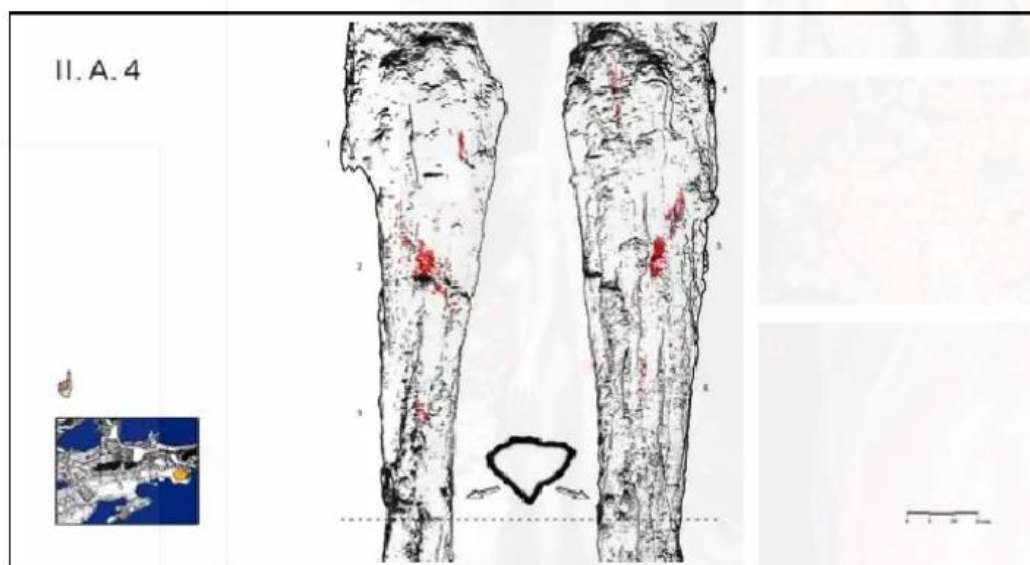


Figure 77 – Exemples de traces rouges pour la grotte d'Ardales, (Cantalejo, 2006).

²⁵ Il semble cependant que cette hypothèse a été reconsidérée par le même aujourd'hui suite aux datations Uranium Thorium attribuant ces marques à Néandertal.

4.3. - Les traces de colorant de la grotte Chauvet : du contexte aux moyens d'études

4.3.1. - Un secteur clé : la première partie de la grotte Chauvet

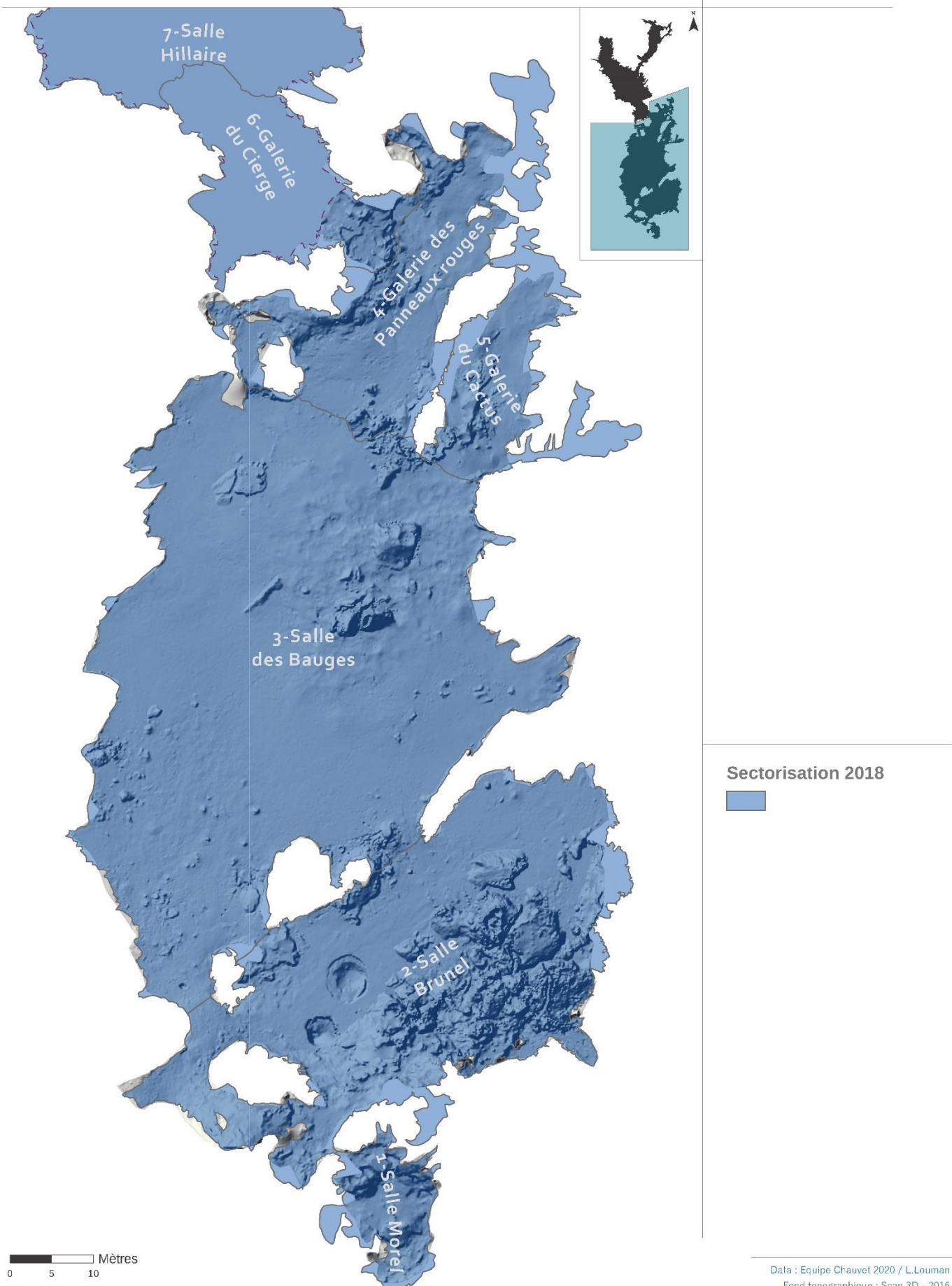
Depuis les années 1998, les résultats des recherches sur la grotte Chauvet sont publiés dans plusieurs ouvrages monographiques et un numéro spécial (Clottes, 2001 ; 2005 ; Delannoy et *al.*, 2020). Une publication spécifique consacrée aux premières salles est en cours de publication. Les études se poursuivent actuellement dans la seconde partie.

Cette première partie de la grotte comprend 6 secteurs principaux (Carte 10). L'entrée préhistorique se situe au sud-est de la salle des Bauges (Figure 78). Cette salle est monumentale, large, avec de hauts plafonds. Le regard circule librement, il rencontre peu d'obstacles. Le sol est plat et facile d'accès. Durant le Paléolithique, on pense que la clarté du jour pouvait s'étendre dans cette première salle. L'accès à la Salle Brunel se fait par l'est et le nord de la salle des Bauges. Cette salle présente par ailleurs des piliers et des massifs rocheux, de petites alcôves et un diverticule. De nombreux blocs viennent joncher le sol rendant la circulation dans cet espace particulièrement complexe (Figure 78). Au sud de la salle Brunel se trouve la salle Morel. Elle présente une taille modeste. La relation de cette salle avec le reste de la grotte et l'extérieur reste complexe à comprendre. Dans la salle des Bauges, au nord-est, se situe la galerie du Cactus, c'est une galerie légèrement descendante, étroite avec un plafond très haut (Figure 79). Elle présente un ressaut sur la paroi gauche où il est possible de circuler. Cette salle ne présente pas de difficulté particulière. Dans la continuité de la salle des Bauges se trouve la salle des Panneaux rouges (Figure 78). C'est un vaste ensemble qui est une zone de passage vers la seconde partie de la grotte. Enfin le Seuil est un point de passage obligatoire vers la seconde partie. C'est une étroiture qui s'apparente à une frontière naturelle entre les deux parties de la grotte (Figure 79).

Ces secteurs sont relativement accessibles et présentent tous une singularité dans leur morphologie. D'autres secteurs, plus discrets, plus difficiles d'accès existent en marge de ces principales galeries : comme la galerie Rouzaud au nord de la galerie des Panneaux rouges et la galerie de la Bretelle qui relie le secteur des Panneaux rouges à la salle des Bauges.

Ce sont 25 datations qui ont été réalisées (Valladas et *al.*, 2003 ; 2004 ; 2005 ; Quiles, 2014 ; 2016) pour dater l'occupation humaine de cette première partie de la grotte.

SECTORISATION (1ÈRE PARTIE)



Carte 10 – Secteurs de la grotte, L.Louman.



Figure 78 – Visualisation des principales salles, C.Fritz et G.Tosello, S.Jaillet, J.J.Delanoy.

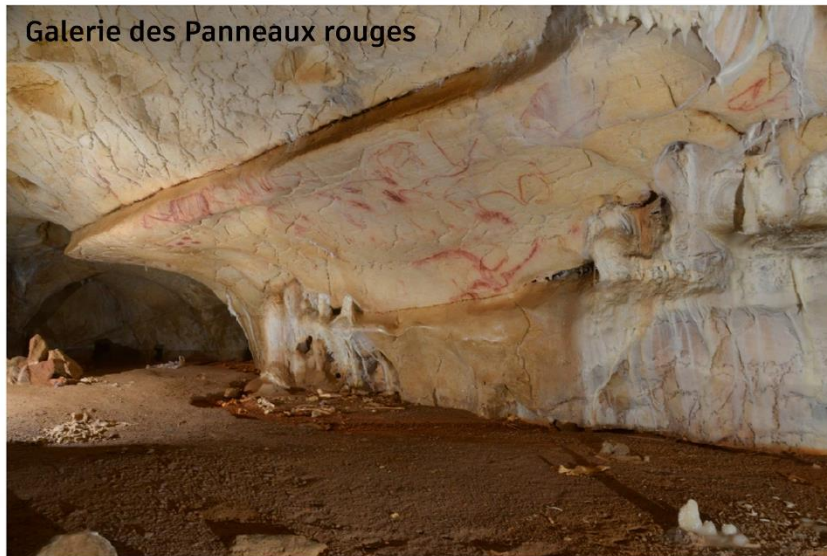


Figure 79 – Visualisation des principales zones, C.Fritz, G.Tosello, L.Louman.

La fermeture du porche livre un *terminus post-quem* à -21 500 ans, période après laquelle la grotte ne fut plus accessible (Genty, 2004 ; 2005 ; Sadier et *al.*, 2012). Pour la chronologie de la fréquentation humaine, une seule datation absolue a pu être effectuée sur une représentation. Elle provient d'un tracé de mammouth noir superposé à une main négative rouge dont la datation sur fraction humique est comprise entre 36 558-31 008 ans cal BP (Quiles et *al.*, 2016). Par ailleurs, les datations de marques charbonneuses sont à situer entre 31 000 et 28 000 ans cal BP et correspondent à une excursion gravettienne qui se poursuit dans la seconde partie. Enfin, l'utilisation de la thermoluminescence sur la paroi chauffée a aussi livré des dates aurignaciennes (Guibert et *al.*, 2015).

Dans cette première partie de la grotte, 85 % des entités graphiques sont réalisées en rouge. Le bestiaire se compose de figures d'ours, de lion, de mammouth, de rhinocéros, de mégacéros, de cheval, de bouquetin, et compte également un exemple

de panthère. Ce qui caractérise également cette première partie est la présence de signes, aussi présents que les réalisations figuratives. La grotte compte de très grands ensembles de points-paumes, que l'on retrouve sur plusieurs panneaux dans la salle Brunel et la galerie des Panneaux rouges. D'autres signes élaborés dits « en W », « bilobés », « en gerbe », ou encore de petits cruciformes se retrouvent à différents emplacements dans cette première partie (Feruglio et Baffier, 2007).

La présence humaine se retrouve par des dépôts d'ossement fichés (humérus) ou déplacés (vertèbre, canine, os pénien, côtes, crâne). Ces ossements appartiennent à l'ours des cavernes. Des structures en pierre sommairement aménagées sont aussi décrites à plusieurs endroits de la cavité : au centre de la galerie du Cactus et devant les panneaux rouges. Enfin, la présence de parois rubéfiées indique la réalisation de feux importants dans le diverticule des ours, mais également au niveau du porche de la grotte (Brodard et al., 2014 ; Ferrier et al., 2017).

Cette première partie de la grotte est apparue assez homogène d'un point de vue graphique notamment par la présence du rouge et certaines thématiques comme les points-paumes qui se retrouvent de manière continue dans les salles.

L'étude de l'organisation spatiale de ces premières salles montre une grotte extrêmement organisée avec des emplacements sélectionnés. Chaque morphologie d'espace a été investie en tenant compte de la forme générale de la galerie ou de la salle. Ainsi, la salle Brunel présente une organisation rayonnante autour du massif de la Gloriette qui domine l'ensemble (Annexe 11). Ce point apparaît stratégique dans le fonctionnement de cette salle dont tous les panneaux peuvent s'observer du haut (Le Guillou, 2005 ; Baffier et Feruglio, 2012). Dans la salle des Bauges, peu d'exemples de figures sont à noter en comparaison de l'espace disponible. Sur les 50 % de la surface au sol que représente cette salle dans la première partie, seuls 9,3 % des figures y sont recensées. La galerie du Cactus est elle aussi organisée autour d'une structure anthropique, cependant les entités se répartissent symétriquement sur les deux parois et sont toutes orientées vers la sortie de la galerie (Fritz et Tosello, 2012a). Ensuite, le Panneau de la panthère, situé au nord-est de la salle des Bauges paraît relativement scénographié. Il présente des représentations d'une panthère, mais aussi d'ours amaigris, à proximité d'une zone où les bauges à ours sont d'ailleurs nombreuses. La galerie des Panneaux rouges est un espace densément orné sur plusieurs mètres. Ce secteur regroupe différentes thématiques et signes.

Dès les premières études, les auteurs ont mentionné la présence de traces rouges à certains endroits de la cavité, sur le massif de la Gloriette, au niveau du Seuil ou encore sur une proéminence rocheuse au niveau des dominos (Baffier et Feruglio, 2012 ; Le Guillou, 2005). Elles ont parfois été interprétées comme des traces d'escalade ou comme du balisage. De nombreuses traces localisées sur des

stalactites ont été relevées comme des empreintes digitées. Suite à un réexamen des entités relevées pour la numérotation de la première partie, plusieurs dizaines ont été à nouveau répertoriées. Elles présentent alors un corpus riche, de tailles et formes différentes et parfois isolées des principales zones ornées.

Ces traces ouvrent de nombreux questionnements sur le comportement spatial dans la grotte. Les travaux de Yannick Le Guillou, en 2005 (Le Guillou, 2005) offrent plusieurs pistes de réflexions sur les modalités de circulation et sur la structuration de l'espace. Il interroge, par sa connaissance du terrain, les axes de circulation en s'appuyant sur la topographie générale et les emplacements des panneaux (Le Guillou, 2005). Il met en avant le caractère accessible des zones présentant des manifestations graphiques qui sont, par ailleurs, situées sur les principaux axes de circulation naturels. L'accessibilité et le confort seraient deux éléments privilégiés par les auteurs des réalisations. Enfin, un itinéraire sportif, plus ardu pourrait aussi se révéler à la lecture des traces d'activités. Ce cheminement est mis en relation avec une démarche exploratoire et une planification ornementale. Dans sa démarche, Yannick Le Guillou décèle alors l'importance des traces qu'il qualifie de balisage pour certaines d'entre elles.

La publication de l'Atlas de la grotte Chauvet en 2020 montre tout l'intérêt de proposer une lecture spatialisée et croisée de l'ensemble des thématiques (Delannoy et al., 2020).

Ainsi, nous nous inscrivons à la suite de ces travaux et de ces observations. Cette première étude de l'interaction spatiale ainsi que l'étude multidisciplinaire de la première partie de la grotte Chauvet offrent désormais un cadre optimal permettant de s'intéresser directement aux questions de circulation et de structuration de l'espace. La connaissance plus avancée de certains secteurs a débouché sur un recensement important des traces rouges dans plusieurs zones de la grotte. Leur nombre important invite ainsi à questionner leur fonction dans la grotte, mais également leur répartition au regard de l'ensemble orné. L'enregistrement et la mise en place précoce du SIG sont alors un apport méthodologique essentiel permettant d'interroger et de décrire cette distribution (Boche et al., 2010).

4.3.2. - Un protocole d'étude orienté sur l'espace

Pour constituer le corpus de traces, nous nous sommes à la fois appuyés sur des entités connues et répertoriées dans les travaux existants ainsi que sur celles récemment découvertes sur le terrain. Une partie d'entre elles (31) ont fait l'objet d'une étude précise ou ont été préalablement relevées par les chercheurs. Cette documentation est présente dans les rapports d'activité ou (et) dans le SIG Chauvet

dans la couche « Art préhistorique ». Ensuite, 33 marques et traces ont été enregistrées dans la couche SIG « traces d'activité », mais non inventoriées dans les données globales (rapport, relevé). D'autres entités n'étaient connues qu'oralement, mais absentes du corpus documentaire de la grotte. Le dialogue avec les membres de l'équipe de recherche a été une source capitale d'information qui a permis de réenregistrer des entités et de documenter les manquantes. L'ensemble du corpus a été recréé à partir de ces diverses sources. Il a fait l'objet d'une vérification et d'un référencement plus précis comprenant un enregistrement géographique, une description et une couverture photographique (Figure 80). Lors de la vérification, 32 nouvelles entités ont pu être ajoutées au corpus.

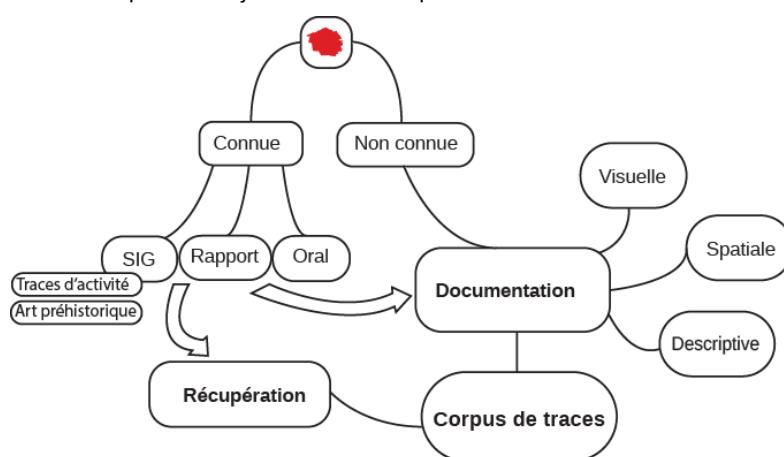


Figure 80 – Processus de création du corpus de traces à partir de sources diverses.

L'inventaire a fait l'objet d'une description systématique, elles ont été premièrement inventoriées grâce à l'outil WebSIG. La documentation visuelle a nécessité la prise de vues photographiques contextuelles et macroscopiques pour les traces isolées. Les marques regroupées à proximité ou en grand nombre ont fait l'objet de photogrammétrie. En laboratoire, les photos ont été observées, traitées avec Dstrecth²⁶ (Figure 81).

De nouvelles découvertes ont pu être faites grâce au traitement d'images et ont pu être confirmées ultérieurement sur place. La confrontation de regards extérieurs de membres de l'équipe a fréquemment été mobilisée sur le terrain et en laboratoire pour valider certains doutes sur leur identification. Les traces rouges sont parfois très proches de l'oxydation naturelle pouvant prêter à confusion. Seules les traces et marques bien identifiées comme telles ont été retenues. Une fois, les annotations et les tables complétées, les coordonnées des entités ont pu être récupérées précisément grâce au scan 3D aux photogrammétries géoréférencées²⁷. Dans la

²⁶ Dstrecth est un programme de décoloration d'image conçue par © Jon Harman pour l'art rupestre. Il est utilisé pour révéler des concentrations de pigment peu perceptible à l'œil nu.

²⁷ Le webSIG a permis de positionner manuellement les traces rouges dans une zone géographique donnée. Cette étape a permis de constituer un premier inventaire grâce aux

dernière phase de normalisation, la base remplie a été intégrée dans ArcGIS Pro en lien avec le WebSIG.



Figure 81 – Traitement Dstretch pour visualiser les coloration rouge, Massif de la Gloriette, Salle Brunel, L.Louman

Notre travail de prospection nous a amenés à cartographier notre propre état de connaissance de la première partie de la grotte (Carte 11). L'ensemble des secteurs n'ont pas pu être explorés avec le même degré d'attention en raison de leur inaccessibilité. Cette différence de connaissance des zones de la grotte n'est pas sans conséquence, des données ont pu être omises et viennent potentiellement biaiser la répartition spatiale de traces. Pour mieux comprendre cette répartition, nous avons cartographié ces trois zones à travers nos degrés de prospection et de documentations.

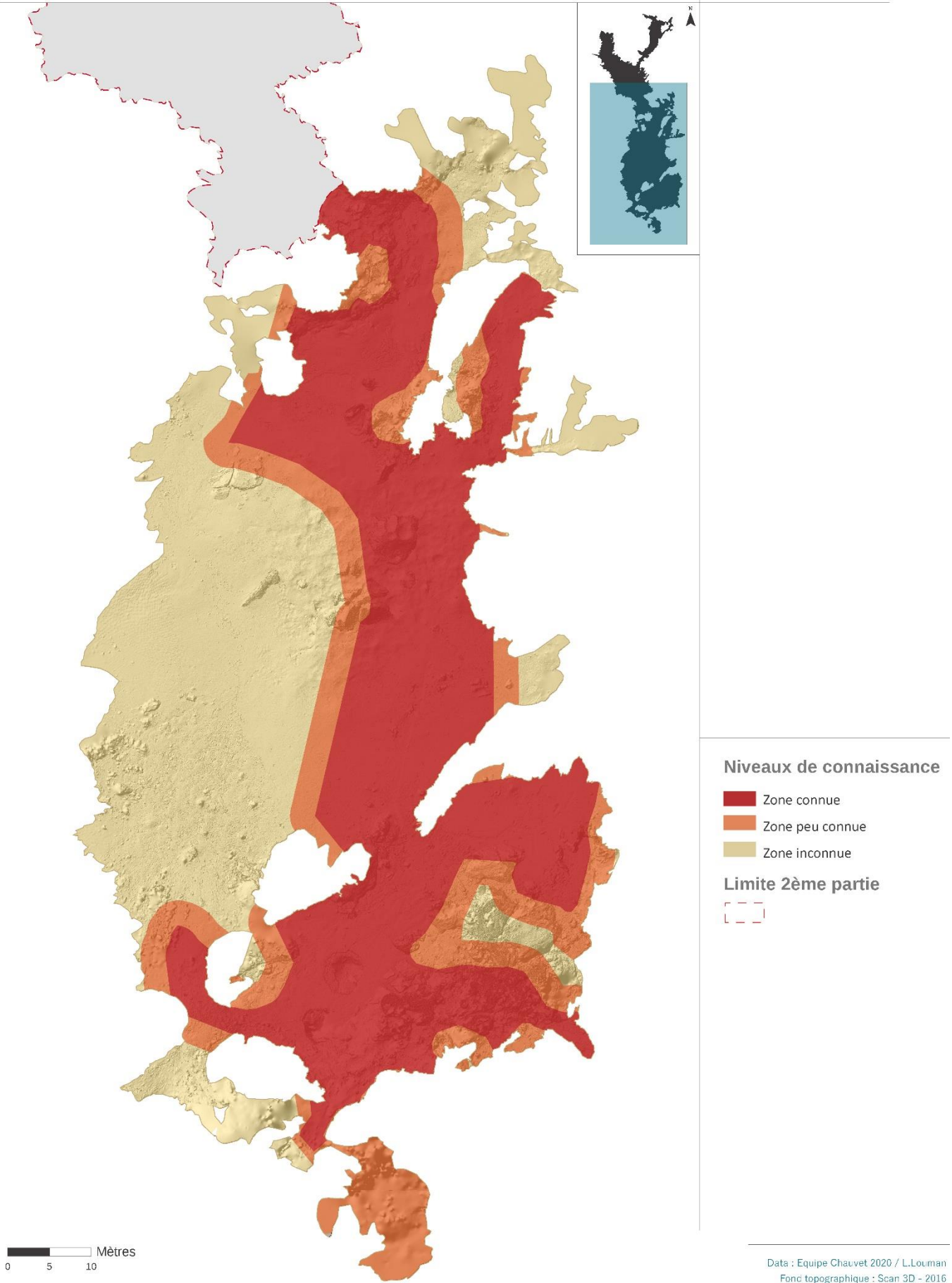
Les zones bien documentées : sont les périmètres accessibles par les passerelles et les zones endurées. Elles correspondent aux cheminements classiques de la grotte. Dans ce secteur l'observation des traces et marques peut se faire aisément. Le contrôle a pu être effectué à plusieurs reprises. Nous considérons la connaissance de cette partie de la grotte comme exhaustive.

Les zones peu documentées : ces parties de la grotte sont moins bien documentées que les précédentes. Cela peut être dû à plusieurs facteurs : l'accès à cette zone n'a pu se faire qu'une seule fois ; les parois ou les massifs rocheux sont situés trop loin des passerelles pour faire l'objet d'une observation attentive. La création de modèles photogrammétriques a néanmoins permis de pallier à ce problème en offrant une visibilité plus précise de ces zones.

Les zones non documentées : nous n'avons pas pu accéder à ces secteurs de la grotte. Les parois sont situées trop loin des passerelles pour réaliser une acquisition photogrammétrique. Ces zones sont seulement documentées par des observations retrouvées dans les rapports d'activités. Certaines de ces zones sont toujours inconnues car leur accès nuirait à la conservation de l'état des sols de la grotte.

tables et la prise de photo sous GeoData. Néanmoins, il faut obligatoirement repasser par le scan 3D pour obtenir la position exacte et les coordonnées Z des entités graphiques.

ZONES PROSPECTÉES



Carte 11 – Les degrés de connaissance des zones prospectées, L.Louman.

4.3.3. - Les critères retenus

Nous avons retenu plusieurs critères afin de pouvoir caractériser les traces collectées. La mise en place de notre typologie s'est basée sur la connaissance du terrain et les travaux des auteurs ayant auparavant étudié ce type de manifestations. (Sanchidrián-Torti, 1990 ; Lorblanchet, 2010 ; Pigeaud, 2010 ; Medina-Alcaide et *al.*, 2016 ; 2018). Il ressort certaines constantes communes à leur typologie qui nous semblent importantes à intégrer dans les critères de description. Nous allons nous attacher plus particulièrement à décrire, le geste d'application, mais également à étudier leur localisation directe dans la grotte. Les critères vont néanmoins porter sur plusieurs thématiques : forme, matière, technique, support, localisation. La base mise en place par l'équipe de la grotte Chauvet fournit un cadre assez complet des caractéristiques de l'art pariétal (HADES)²⁸. Les champs que nous avons sélectionnés sont alors compatibles avec le reste des entités graphiques (signes et entités figuratives) déjà présentes dans le SIG de la grotte et vérifiées. La spécificité des critères que nous avons introduits concerne essentiellement la définition de la forme qui va être importante pour distinguer une trace d'une entité graphique. Nous avons également bien développé les dimensions, les hauteurs qui nous seront utiles pour tester l'homogénéité de cette catégorie (Tableau 11).

Forme

Identification de la forme : la forme se caractérise par la présence d'un contour. Les formes sur lesquelles nous allons travailler possèdent des contours définis, mais irréguliers, flous et sans références figuratives ni géométriques. Ce sont des taches polyformes, qui ne sont pas construites ni structurées. Nous les qualifierons alors de taches pour souligner cette absence.

Fluidité : en cas d'application de colorant, il est possible de décrire l'état de la matière : fluide, sec, très liquide (Figure 82). Dans l'alcôve des chevaux jaunes dans la même salle, des petits protomés de Chauvet présentent des coulures dues à la liquidité de la matière. C'est pourquoi, dans les cas où cela est possible nous

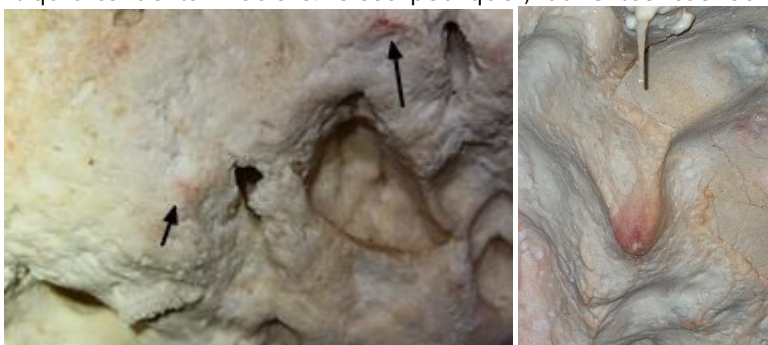


Figure 82 – Matière liquide sur une proéminence rocheuse, salle Brunel / Matière sèche, à proximité du Seuil, salle Brunel, L.Louman.

²⁸ Base de données mise en place par Nobert Aujoulat dans plusieurs grottes pour l'art pariétal (HADES) d'art pariétal (Rigaud et Cleyet-Merle, 2011 ; Aujoulat, 2007 ; Aujoulat, 2009)

mentionnerons l'état. Cet élément de description peut s'avérer utile pour distinguer les taches accidentelles des taches volontaires.

La répartition : le colorant peut être réparti de manière homogène dans la totalité de la forme ou de manière éparse. Cette observation de la répartition de matière peut être révélatrice de l'intention de départ. Si la répartition de matière est hétérogène et que les particules de pigment sont diffuses, espacées et sans problèmes conservatoires, cela peut éventuellement résulter d'un geste partiel et moins appuyé.

Technique

Moyen d'application : le moyen ou médium d'application désigne l'outil mobilisé pour réaliser les traces de colorant. Dans le cadre de cet objet d'étude l'unique moyen d'application est l'ajout de matière. La pulpe des doigts et les mains sont les deux principaux moyens retenus.

Type de gestes : les types des gestes répertoriés sont importants pour caractériser les traces. Parmi les plus courants, nous notons le badigeonnage qui consiste à apposer la matière en aplat assez grossièrement. Dans les maculations, la matière est déposée avec plus de légèreté. Le geste est souvent réalisé d'une seule traite avec l'ensemble des doigts enduits de matière. Le contact est moins intense et plus superficiel que pour le badigeonnage (Figure 83). L'impression est caractérisée par un appui de doigts sur le karst. Les doigts sont enduits et imprimés sur la paroi, avec plus ou moins d'intensité. Enfin, le badigeonnage nécessite un apport créant un effet de matière en surface.



Figure 83 – Maculations (Seuil), maculations (Salle Brunel), empreintes digitées (Salle Brunel), badigeonnage (Salle Brunel), L.Louman.

Dimensions

Longueur et largeur : la longueur et la largeur ont été mesurées dans les modèles 3D sur photogrammétrie et sur le scan. Les mesures ont été prises dans leur longueur maximale.

Hauteur au niveau du sol : la soustraction du modèle numérique de terrain aux coordonnées Z de chaque trace a permis également d'estimer leur hauteur au sol. Quand la soustraction ne permettait pas directement de retrouver les hauteurs à cause de la morphologie de la paroi, la mesure a été effectuée dans le modèle 3D. L'ensemble des mesures ont été prises dans la mesure du possible au centre de l'entité.

Surface occupée : nous avons quantifié la surface investie afin de qualifier l'aire d'occupation des traces par comparaison et à l'échelle de la grotte. Cette mesure a été prise en mètre carré.

Indice de confiance : donne le degré de précision de la mesure :

- 1 précise : l'estimation 1 correspond à l'aire de la figure. Elle est calculée sous Metashape grâce à un modèle photogrammétrique géoréférencé.
- 2 approximative : est une estimation basée sur le modèle 3D réalisée suite au projet Tip Top de la fondation EDF, (le maillage est plus grossier, mais donne une estimation générale de la figure).
- 3 non fiable : la mesure 3 reste très approximative, elle résulte d'un calcul de l'aire en se basant sur la longueur et la largeur de l'entité.

Support :

Le support : il peut être défini comme un élément qui porte la représentation. Plusieurs formes ont été répertoriées : la paroi, les stalactites, stalagmites, massifs rocheux (piliers et blocs), pendants ou encore le plafond (Figure 84).

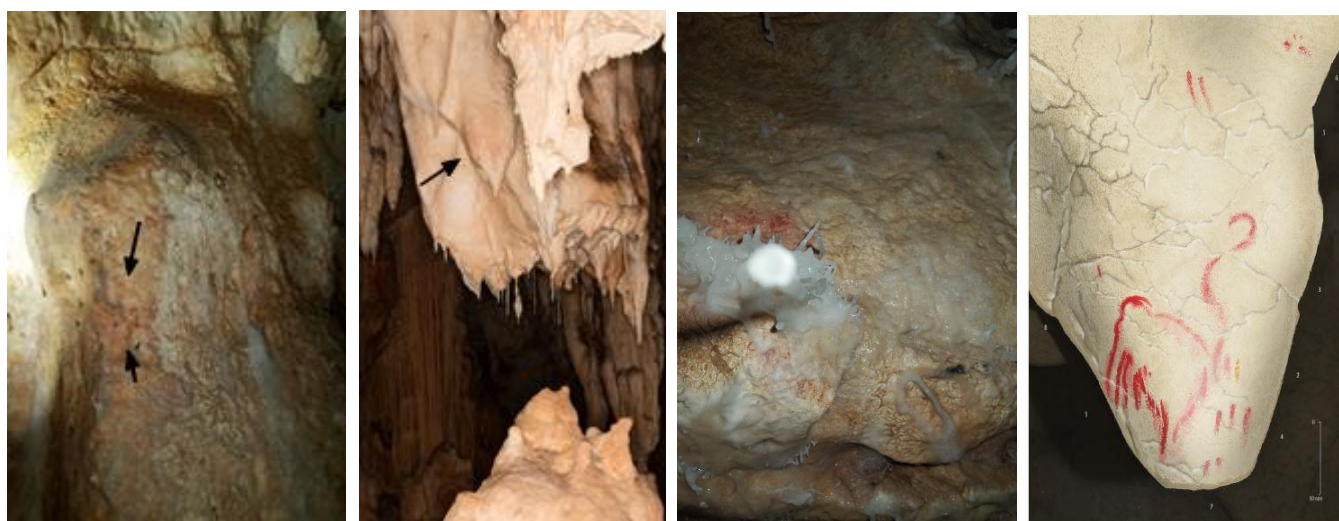


Figure 84 – Traces de colorant : sur massif rocheux, sur plafond, sur stalactite, en haut d'un pendant (Gauche à droite), L.Louman, relevé C.Fritz et G.Tosello.

Le détail de la localisation : afin d'affiner cette catégorie, le champ vient par exemple préciser l'emplacement, sur une arête ou à l'aplomb d'un massif, localisé ou non sur une extrémité saillante ou un replat.

Contexte spatial

Relation topologique : la relation topologique désigne la position de la trace vis-à-vis des autres éléments ou entités graphiques présentes. Pour identifier la relation, nous avons repris et adapté le vocabulaire de la description spatiale utilisé dans les SIG.

- **Isolée** : une entité est située à plus 0,80 m. Nous avons choisi cette unité, car elle renvoie à la définition de champs manuels d'André Leroi-Gourhan (Leroi-Gourhan, 1965a).
- **Recoupement** : quand une figure interagit, recoupe ou se superpose à une autre figure.
- **Juxtaposé** : une entité est présente dans d'un rayon 0,80 m d'une autre entité.

Orientation : La grotte est orientée vers le nord géographique, les points cardinaux ont donc fait office de référence pour désigner les emplacements des figures (nord, nord-est, est, sud-est, sud, sud-ouest, ouest, nord-ouest).

| | Champs | Descriptions | Exemple |
|----------------------|------------------------------|--|----------------|
| Information générale | ID | Numéro figure | 150 |
| | Nom | Code de relevé | TR02.GL02.21 |
| | Salle | Nom du secteur | Salle Brunel |
| | Code | Code du secteur | 2 |
| | Nom panneau | Nom panneau | La Gloriette |
| Forme | Définition de la forme | Contours définie ou non | non définie |
| | Identification | Forme | tache |
| Matière | Fluidité | Aspect de liquide de la matière | non |
| | Répartition | Homogène ou non homogène | non homogène |
| | Moyen d'application | Outils utilisés | main |
| | Geste | Types de geste effectués | frottement |
| Dimensions | Longueur | cm | 1,72 |
| | Largeur | cm | 2,63 |
| | Hauteur niveau de sol | cm | 192,904 |
| | Surface occupée | m ² | 0,000943 |
| | Indice de confiance | En fonction du moyen de mesure surfacique réalisée | 3 |
| | Coordonnées | x/y/z | |
| Support | Forme | Nom de la forme spéléologique | Massif rocheux |
| | Type d'emplacement | Support utilisé | replat |
| Contexte | Topologie | Relation aux autres entités graphiques | isolée |
| | Orientation | Position en fonction des points cardinaux | nord |
| Archivage | N° rapport | Année du rapport | 2019 |
| | Relevé | Relevé présent ou non | non |
| | Auteurs | Nom auteur | L.Louman |
| | Couverture photo | Effectuée ou non | oui |
| | Couverture photogrammétrique | Effectuée ou non | oui |

Tableau 11 – Fiches des critères retenus.

4.4. - Présentation générale du corpus du traces

Le travail de collecte mené a permis de constituer un corpus d'étude. Afin d'appréhender au mieux sa variabilité, nous allons, le décrire à travers les critères retenus : techniques, dimensions, tailles, supports, gestes. Cette étape nous permet de caractériser précisément le type de trace identifiée. La présentation du corpus

s'appuie sur des cartes de répartition qui permettront d'observer la distribution des phénomènes. Ces cartographies viendront spatialiser ce travail d'analyse.

4.4.1. - Présentation du corpus

La première partie de la grotte Chauvet comprend un total de 96 traces (Tableau 12). Elles ont une place relativement importante dans la première partie de la grotte Chauvet. Si on les retrouve dans les 5 principales salles de la cavité, leur répartition n'est pour autant pas uniforme.

| | Nombre de traces | Pourcentage de répartition |
|-----------------------------|------------------|----------------------------|
| Salle Morel | 0 | 0% |
| Salle Brunel | 59 | 61% |
| Salle des Bauges | 3 | 3% |
| Galerie du Cactus | 17 | 18% |
| Galerie des Panneaux rouges | 6 | 6% |
| Galerie du Cierge - Seuil | 11 | 11% |
| Total | 96 | 100% |

Tableau 12 – Nombre de traces dans la première partie de la grotte Chauvet.

Dans la première salle de la grotte, la salle Morel, aucune trace de colorant rouge n'est à noter. La salle Brunel comprend 59 traces soit plus de la moitié du corpus. Au sein de cette salle, les traces se retrouvent polarisées dans des zones comme le massif de la Gloriette qui est situé au milieu de la salle. Elles se retrouvent isolées ou en périphérie sur les parois (Carte 12).

La salle des Bauges présente peu de traces, 3 seulement ont été recensées. Elles sont localisées au nord, sur le panneau de la Panthère, à la limite de la galerie des Panneaux rouges et au sud à proximité de la salle Brunel. Ce secteur est pourtant le plus vaste de la première partie, il est central et dessert les différentes zones. Dans la galerie du Cactus, 17 traces ont été observées. Cette galerie est située dans le prolongement de la salle des Bauges. Les marques se trouvent essentiellement à l'entrée sur un pendant rocheux et sur les parois proches.

Au nord de la salle des Bauges et à partir du panneau de la Panthère, commence la galerie des Panneaux rouges, cette zone se caractérise par un vaste ensemble graphique qui se déroule tout le long de la paroi de droite. Dans ce secteur, peu de traces ont pu être repérées. Elles sont au nombre de 6. Elles apparaissent dispersées et isolées des panneaux.

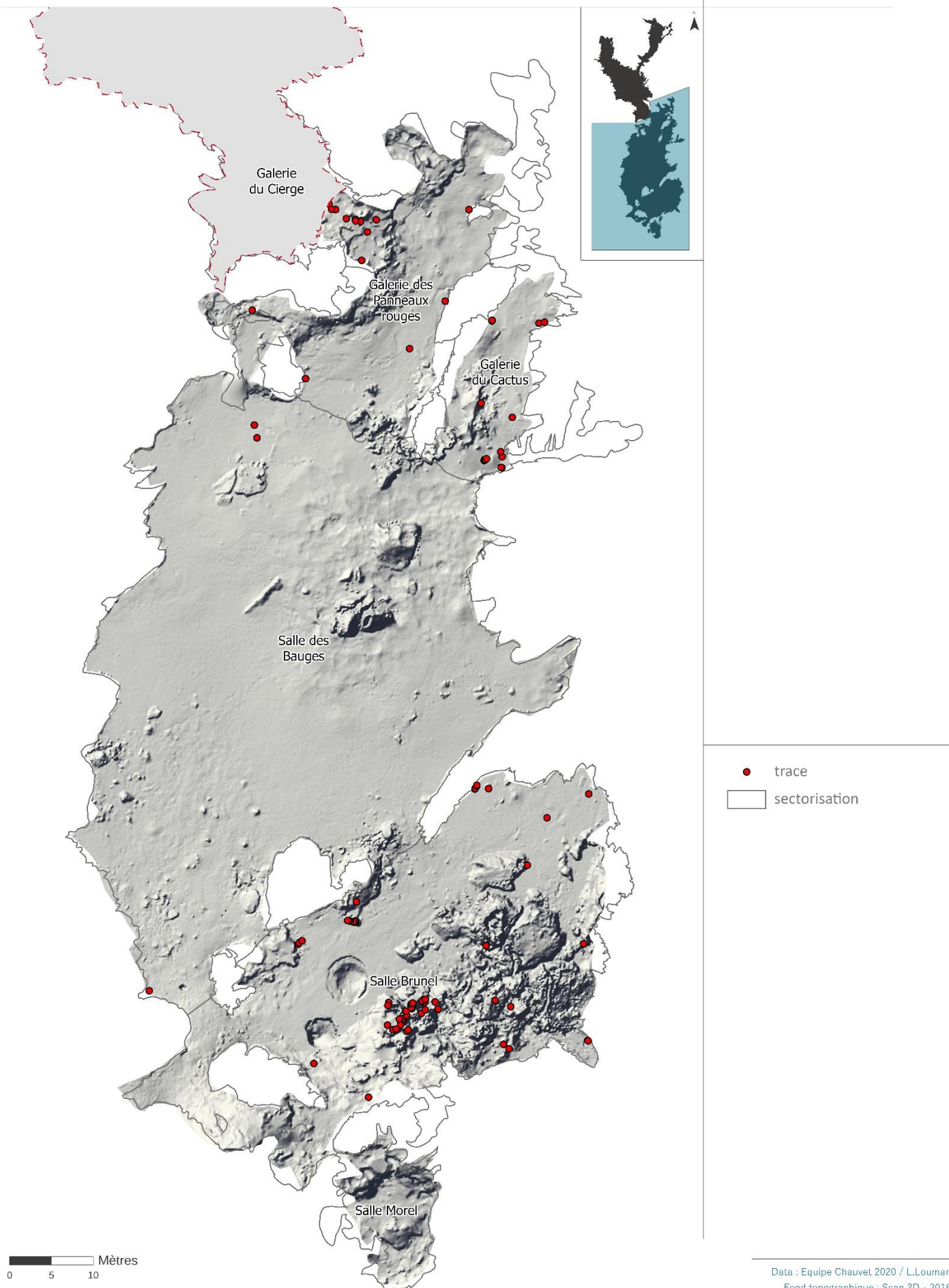
Enfin, pour se rendre dans la deuxième partie de la grotte, il faut emprunter le Seuil, qui est la partie la plus resserrée de la galerie du Cierge. Dans ce secteur se trouvent 11 traces sur le plafond et sur les retombées de voûte. C'est une zone relativement étriquée qui compte néanmoins un nombre conséquent de traces.

De ces premières observations sur la répartition des traces, nous constatons que les marques s'organisent de deux façons différentes. Tout d'abord, nous relevons une polarisation autour de secteur clef comme le massif de la Gloriette, à l'entrée de la galerie du Cactus ou sur le plafond du Seuil (Figure 85). Ce sont des secteurs de fortes concentrations où elles se retrouvent en nombre et présentent une proximité spatiale. Ensuite, nous remarquons qu'elles sont isolées et dispersées dans le centre des salles. L'ensemble de la première partie de la grotte, excepté la salle Morel, présente des traces.



Figure 85 – Localisation des traces sur la Massif de la Gloriette (Vue du nord en direction du sud), Pérazio, 2016.

RÉPARTITION DES TRACES



Carte 12 – Cartographie des types des traces, L.Louman.

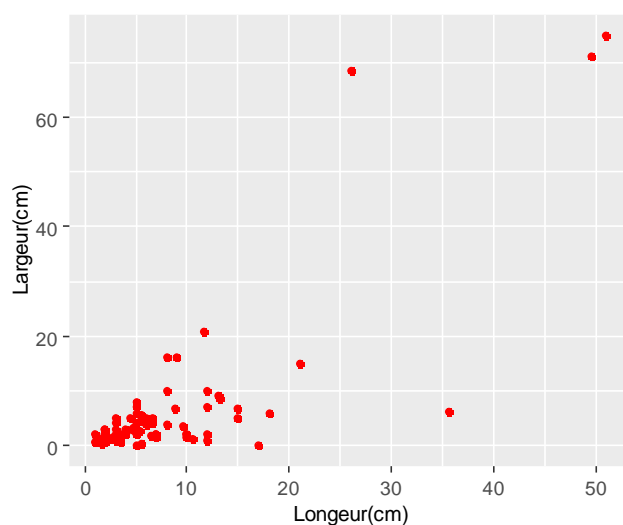
4.4.2. - Mesures

4.4.2.1. - Longueur et largeur

Nous avons évoqué au travers de la littérature, la diversité des types de manifestations qui compose la catégorie des traces. Chaque entité a été mesurée dans leur longueur maximale et leur largeur maximale. La répartition en nuage de points des longueurs et largeurs permet d'observer les tendances et de caractériser leur variabilité (Graphique 15).

Les traces ont pour 90 % des cas, une taille comprise entre 0-20 cm de long et 0-20 cm de large. Elles présentent des longueurs et largeurs relativement modestes.

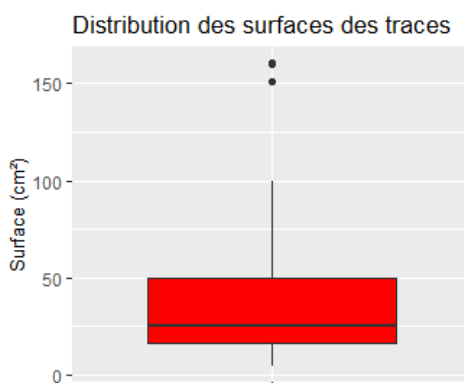
Trois traces se démarquent avec des largeurs supérieures à 60 cm et longueurs supérieures ou égales à 40 cm. Il s'agit de larges aplats de couleur qui se détachent de l'ensemble du corpus. Mis à part ces deux exemples présentant des valeurs extrêmes, le corpus se regroupe autour de tailles proportionnées et plus réduites. Dans le cas des longueurs, la médiane est à 5 cm et de 2,73 cm pour la largeur. Ces mesures font écho à la nature même de cet objet non figuratif et peu structuré. Ces traces sont donc relativement discrètes, en comparaison aux figures animalières de la grotte.



Graphique 15 – Nuage de point de la longueur et largeur maximale des traces.

4.4.2.2. - Surface occupée

Le calcul de la surface occupée a été précédemment réalisé à la grotte de Marsoulas. Il s'agit d'un nouveau degré d'information qui vient compléter les mesures des longueurs et largeurs. Ce calcul est plus adapté à ces entités, car les taches n'ont pas des formes régulières. Les boîtes de dispersion permettent de constater la répartition des surfaces en cm^2 (Graphique 16). Les trois entités les plus imposantes ont été retirées de la distribution, car elles limitaient fortement la lecture du reste du graphique. Le retrait de ces entités amène la médiane à $25,4 \text{ cm}^2$. Les résultats confirment les tendances observées par les longueurs et les largeurs. La surface occupée par les marques est relativement homogène et faible. Les dimensions sont très standardisées. Elles se détachent des grandes réalisations, car elles sont beaucoup moins imposantes et nécessitent moins d'investissement sur le plan technique et formel.



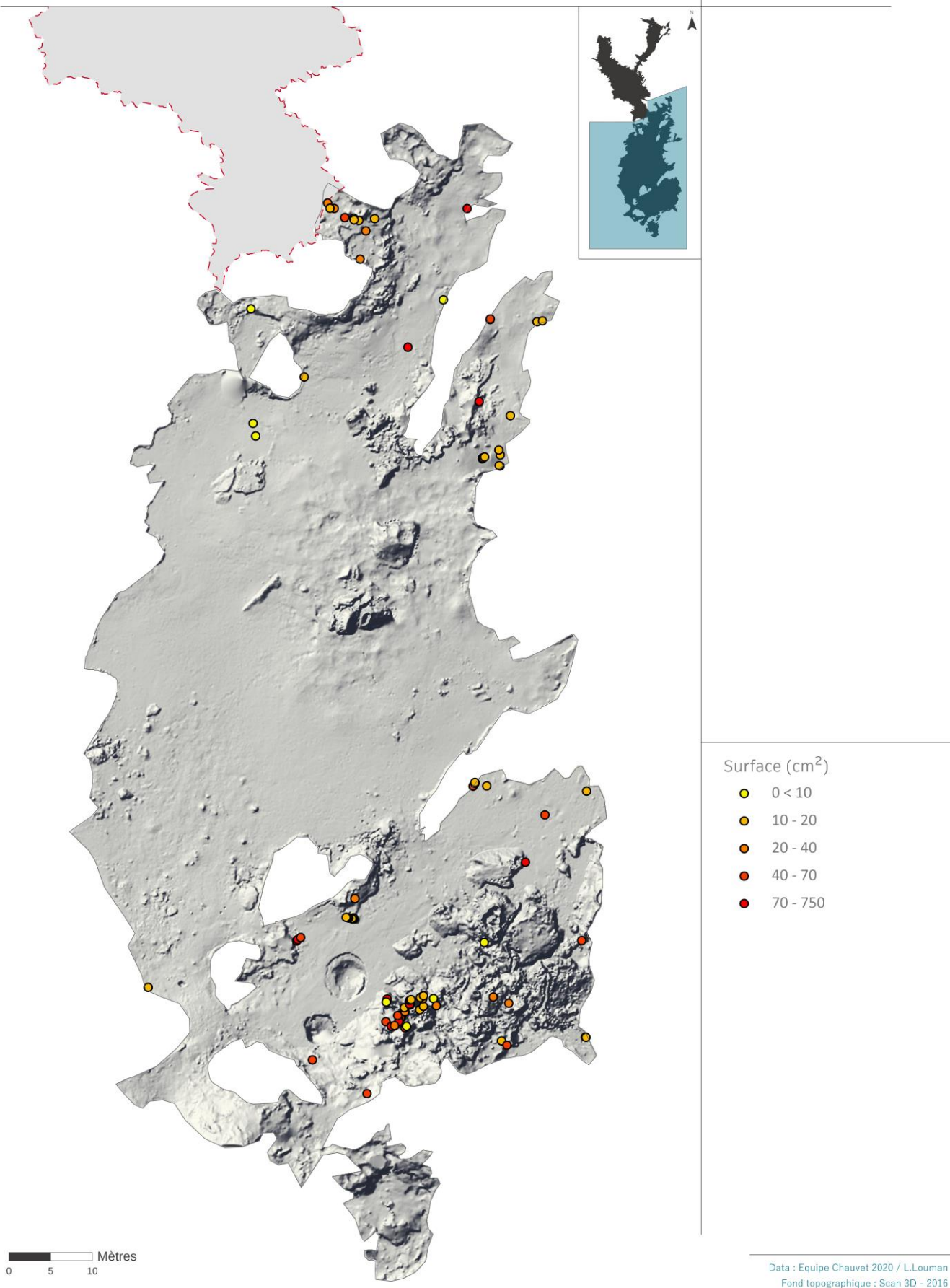
Graphique 16 – Répartition des tailles et marques en fonction de la médiane et des écarts-types (grotte Chauvet).

L'aire en cm^2 de ces traces a pu être cartographiée. Pour chaque élément la surface a pu être affichée grâce à une graduation. Nous constatons que les entités comprises entre la classe 1 (jaune) qui débute à 10 cm^2 jusqu'à la classe 3 (orange) 40 cm^2 se concentrent sur plusieurs zones : au niveau du Seuil, la salle Brunel (à côté du panneau de l'Entrée et au bas du massif de la Gloriette) et à l'entrée de la galerie du Cactus. Les entités présentant des tailles supérieures de 40 cm^2 jusqu'à 750 cm^2 (classe 4 et 5 en orangé et rouge) se retrouvent quant à elles dans la galerie des Panneaux rouges où se situent les principaux panneaux ornés, isolées dans la salle Brunel et au niveau du massif de la Gloriette. Malgré ces tendances, il reste difficile d'observer des répartitions nettes en s'appuyant uniquement sur les surfaces occupées (Carte 13). Le choix d'une discrétisation en quantile s'est imposé en raison des dimensions élevées et anecdotiques de quelques entités qui tirent la distribution vers le haut.

Nous constatons que les entités comprises entre la classe 1 (jaune) qui débute à 10 cm^2 jusqu'à la classe 3 (orange) 40 cm^2 se concentrent sur plusieurs zones : au

niveau du Seuil, la salle Brunel (à côté du panneau de l'Entrée et au bas du massif de la Gloriette) et à l'entrée de la galerie du Cactus. Les entités présentant des tailles supérieures de 40 cm² jusqu'à 750 cm² (classe 4 et 5 en orangé et rouge) se retrouvent quant à elles dans la galerie des Panneaux rouges où se situent les principaux panneaux ornés, isolées dans la salle Brunel et au niveau du massif de la Gloriette. Malgré ces tendances, il reste difficile d'observer des répartitions nettes en s'appuyant uniquement sur les surfaces occupées.

RÉPARTITION DES SURFACES OCCUPÉES

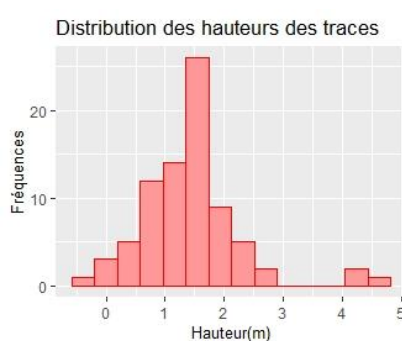


Carte 13 – Surfaces occupées, L.Louman.

4.4.3. - Les hauteurs d'exécution

Les coordonnées Z de chaque entité ont pu être enregistrées grâce au scan laser. Cette valeur a ainsi pu être soustraite à la cellule raster du MNT sous-jacent ou la plus proche permettant de donner les hauteurs d'exécution de chacune des marques et des traces. Ce calcul est relativement intéressant pour discriminer si les champs manuels correspondent aux hauteurs des peintures ou peuvent se retrouver plus bas et dans ce cas être attribuables au passage du corps. Cette démarche a été aussi réalisée pour la grotte de Marsoulas, mais de manière théorique, car nous ne disposons pas des niveaux de sol réel. À Chauvet, les configurations des sols paléolithiques sont relativement proches des sols actuels. Les zones ayant subi de fortes modifications ne concernent pas les zones ornées.

Les mesures pour l'ensemble des traces ont pu être regroupées en boîte de dispersion par type (Graphique 17). Nous constatons néanmoins que la distribution s'apparente à la loi normale. La fréquence augmente autour de 1,30 m et 1,60 m de haut. Cette distribution permet également de visualiser les valeurs extrêmes des entités dont certaines se retrouvent à quelques centimètres du sol et d'autres à 4,7 m de haut. Pour ces marques, l'escalade a été nécessaire pour appliquer une empreinte de doigts sur une stalactite, ces cas ne sont pas isolés. Globalement les traces du corpus se répartissent dans un intervalle de 0 à 3 mètres et de 4 à 5 mètres. Toutefois, la majorité d'entre elles se regroupent entre 1,30-1,60 m, ce qui correspond au champ manuel d'exécution d'un adulte en position debout.



Graphique 17 – Distribution des hauteurs en mètre par fréquences.

Nous avons cartographié cette répartition de la hauteur d'exécution des traces pour mieux la visualiser. Nous constatons que les traces et les marques inférieures à < 0,5 m se retrouvent sur le massif de la Gloriette, vers le diverticule des ours au bas de la salle Brunel (Figure 86). Mais également au début de la salle des Panneaux rouges (Carte 14).

Les entités comprises entre 0,8 m à 1,2 m, se regroupent sur le massif de la Gloriette et des panneaux des Dominos. De 1,20 à 1,50 m les traces se retrouvent au

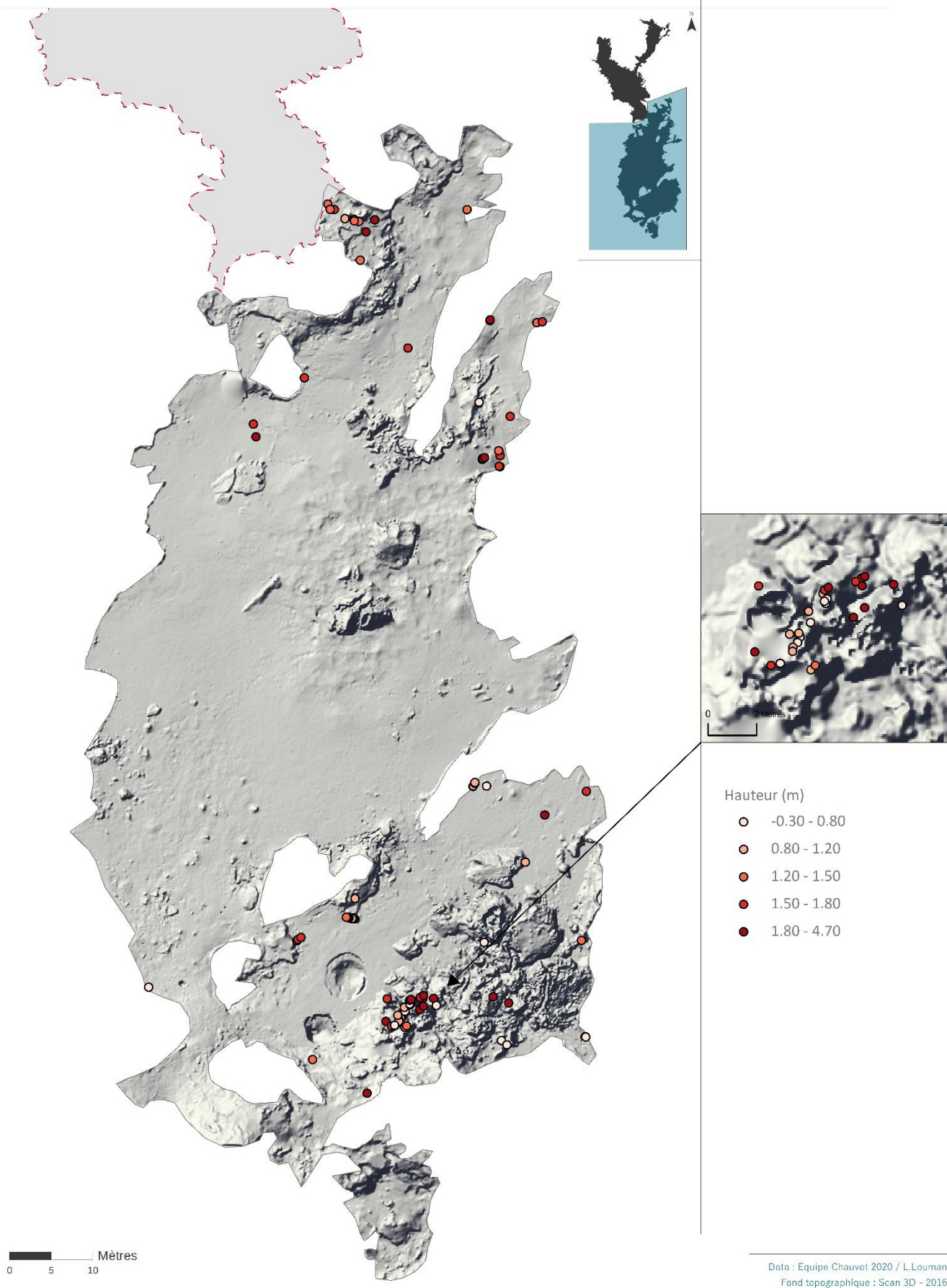
niveau du Seuil. Ces hauteurs reflètent la zone basse de plafonds. Les deux dernières classes de 1,50 m à 4,70 m se retrouvent au niveau du Seuil et des pendants rocheux du Cactus, au niveau du nord de la salle Brunel et à gauche du panneau de l'Entrée. Les traces ayant des hauteurs supérieures à 2,50 m se retrouvent exclusivement dans la salle Brunel assez isolées sur des pendants et des stalactites autour du massif de la Gloriette - la morphologie de la salle Brunel comporte de nombreuses stalactites et présente un relief escarpé contrairement aux autres salles de la première partie.

Ces hauteurs se répartissent de manière variable toutefois les entités proches spatialement tendent à avoir des mesures similaires car elles sont sur le même type de support. Cette proximité spatiale est donc normale.



Figure 86 – Traces de colorant autour d'une galerie qui mène au diverticule des ours, à proximité du Mégacéros, Salle Brunel, L.Louman.

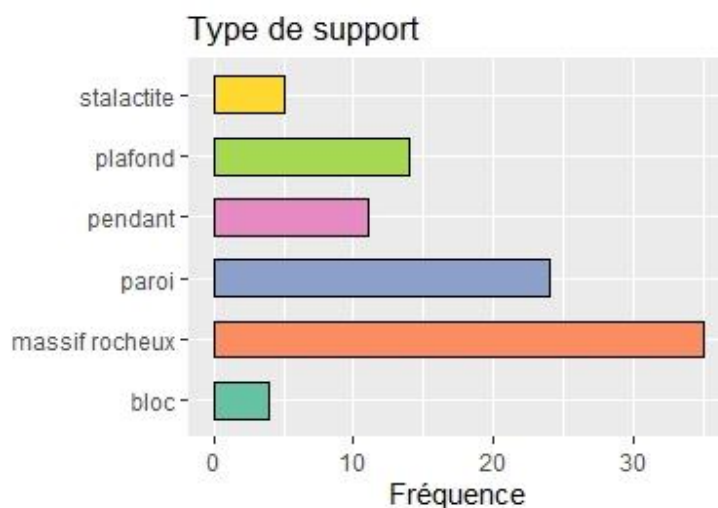
HAUTEURS DES TRACES À PARTIR DU SOL



Carte 14 – Hauteurs en mètres, L.Louman.

4.4.4. - Les types de support

Les types de support disponibles dans la grotte Chauvet sont extrêmement variés et l'ensemble des différents types ont été mobilisés (Graphique 18). Les traces sont largement présentes sur massif rocheux avec 35 entités. Nous pouvons les retrouver aussi sur paroi avec 24 entités. Sur les plafonds, elles sont au nombre de 14. Plus rarement, elles sont signalées sur les pendants (11), sur bloc (4), sur stalactite (5).



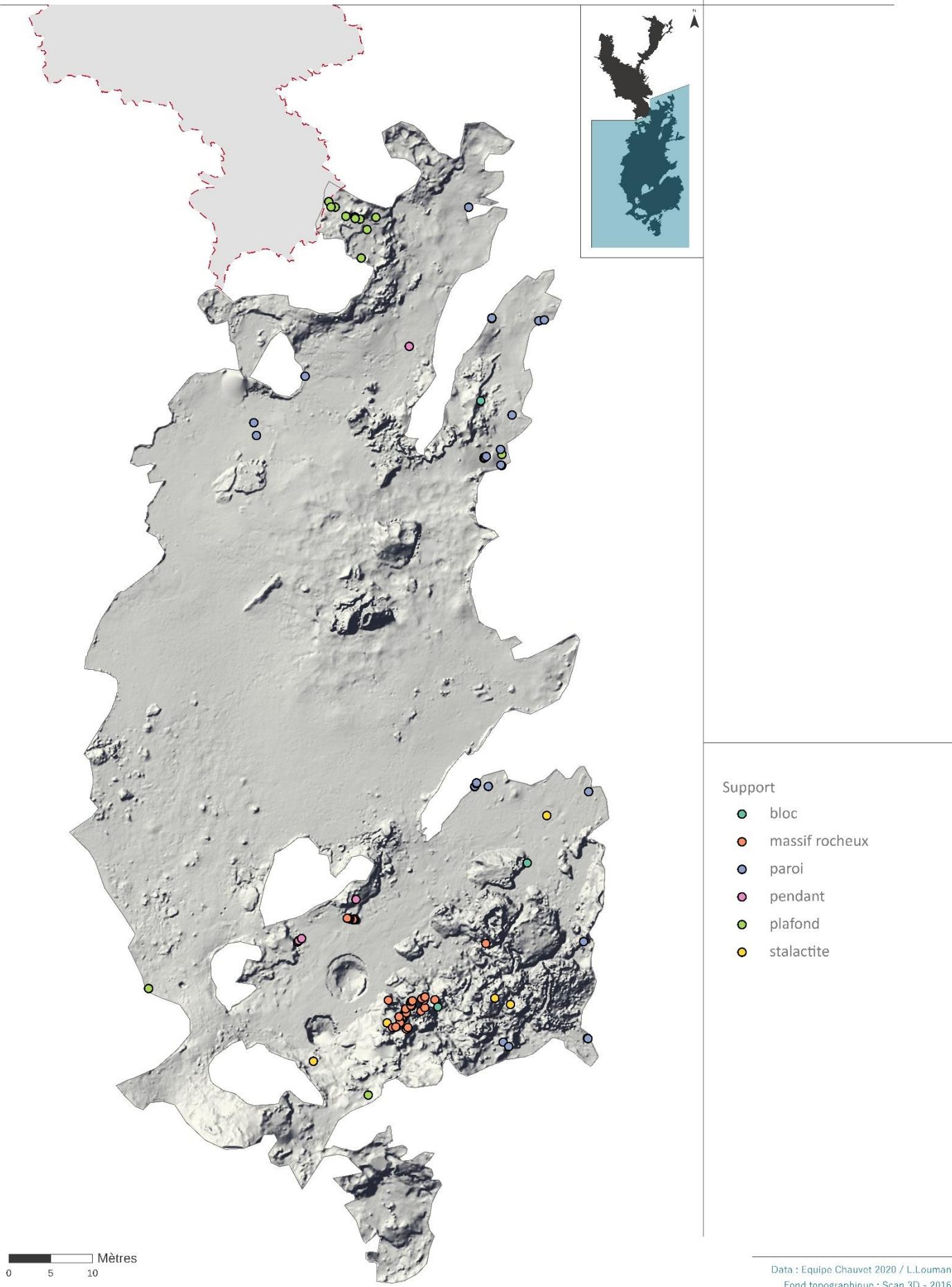
Graphique 18 – Fréquences de répartition des types de supports.

Les marques, malgré une forte tendance de présence sur paroi restent visibles sur une diversité de support dont les massifs rocheux. Cela peut s'expliquer par la concentration importante sur le massif de la Gloriette. Nous aurons tendance à dire que cette diversité des types de supports est une des caractéristiques de cette catégorie.

Les traces apparaissent sur tous les supports avec une forte présence sur les massifs rocheux -surtout sur massif de la Gloriette-ce qui explique cette forte concentration- et les parois. Nous aurons tendance à dire que cette diversité des types de supports est une des caractéristiques de cette catégorie.

La répartition spatiale des entités par type de support traduit en réalité la morphologie de la grotte. Sur la carte, nous voyons sur le massif rocheux de la Gloriette, la présence d'entités qui sont positionnées autour de ce massif ou sur des stalactites et des blocs à proximité (Carte 15). Nous observons également le nombre important de ces marques qui se retrouvent sur le plafond et les retombés de voûte au niveau du Seuil.

TYPE DE SUPPORTS



Carte 15 – Localisation des types de supports, L.Louman.

4.4.5. - Relations spatiales entre les traces et les entités figuratives et non figuratives

La lecture cartographique a montré deux spécificités : d'une part la présence de traces individuelles et isolées et d'autre part, des traces très polarisées et groupées dans certaines zones de la grotte. L'intérêt est alors de mettre en évidence la distribution des traces en liaison avec les entités graphiques dans le corpus. L'objectif est d'estimer et d'observer le lien de proximité qu'elles entretiennent ou non avec les zones ornées. Ainsi, les traces sont des marques de balisage ou de pré-ornementation, si elles entretiennent nécessairement un lien avec les panneaux, ce lien est susceptible d'apparaître cartographiquement.

Pour mesurer la proximité spatiale, nous nous sommes appuyés sur la définition d'André Leroi-Gourhan. Ce dernier désigne l'isolement d'une figure à partir de la notion de champ manuel. Si la figure est située au-delà de 80 cm d'une autre entité, elle peut être considérée comme isolée de l'ensemble (Leroi-Gourhan, 1988). Nous avons ainsi calculé les zones d'ornementation grâce à une zone tampon de 80 cm réalisée autour de chaque entité graphique (figurative, signe, trace). Ces zones tampons ont été jointes et forment une nouvelle couche géographique matérialisant les zones ornées d'après la définition de champ manuel d'André Leroi-Gourhan.

Ces requêtes font apparaître plusieurs résultats (Tableau 13). En effet, ce calcul a permis de mettre évidence que 12 % des traces sont isolées, alors que 88 % sont situées dans un rayon de 80 cm d'une entité graphique ou autre trace.

| | Entité isolée | Total | Pourcentage |
|-------|---------------|-------|-------------|
| Trace | 11 | 96 | 11,4% |

Tableau 13 – Répartition des entités isolées des champs manuels communs.

La notion d'isolement paraît alors relativement faible contrairement au constat mis en évidence par les cartes. Cependant il est possible de préciser ce chiffre. Nous avons donc essayé de procéder différemment en nous demandant quelles étaient les traces présentes dans un rayon de plus et de moins de 80 cm d'une entité figurative et similairement pour la catégorie des signes (Tableau 14). Le résultat de la requête spatiale démontre que 70% des traces sont situées à plus de 80 cm d'une entité figurative et que 76% sont situées à plus de 80 cm d'un signe pariétal.

Le résultat de la requête spatiale démontre que 70 % des traces sont situées à plus de 80 cm d'une entité figurative et que 76 % sont à plus de 80 cm d'un signe pariétal.

Ces résultats attestent que les traces sont éloignées des deux principales thématiques de l'art pariétal. Par ailleurs, 88,6 % d'entre elles se trouvent dans une

zone de 80 cm, dans laquelle une autre trace est présente. Nous pouvons donc conclure que les marques et traces sont isolées des zones ornées, ou du moins elles ne sont pas intégrées aux panneaux et composition d'ensemble. En revanche, elles partagent des relations de proximité entre elles.

| | | Trace | |
|-----------|--------------------------|-------|-----|
| Figuratif | <i>traces < 0,8 m</i> | 29 | 30% |
| | <i>traces > 0,8 m</i> | 67 | 70% |
| Signe | <i>trace < 0,8 m</i> | 23 | 24% |
| | <i>traces > 0,8 m</i> | 73 | 76% |

Tableau 14 – Présence des traces situées à plus et à moins de 80cm des signes et entités figuratives

4.4.6. - Les gestes

Nous avons observé cinq catégories de moyens d'application. Ces moyens d'application sont parfois visibles sur la paroi comme les empreintes digitées, les traces de doigts colorés apparaissent bien sur la paroi. Au contraire, quand une tache est recouverte par un voile de calcite, la lecture du moyen de dépôts et du geste effectué peut s'avérer plus complexe. Il a été possible de dégager les gestes de 96 traces. Dans le corpus nous distinguons, 23 empreintes digitales ; 57 maculations ; 7 aplats réalisés par badigeonnage ; 6 taches réalisées certainement par impression de main enduite sur la paroi et enfin 3 frottements du corps ou d'un vêtement contre la paroi (Tableau 15). Ces catégories de gestes seront plus amplement développées car elles peuvent potentiellement être révélatrice d'intentions de départ très différentes.

| | | Type | Nombre |
|--------|--|------------------------------|-----------|
| Traces | | empreintes digitées | 23 |
| | | badigeonnage | 7 |
| | | maculation | 57 |
| | | impression de main | 6 |
| | | frottement indirect du corps | 3 |
| | | Total | 96 |

Tableau 15 – Répartitions des moyens d'application

4.4.6.1. - Les maculations

La catégorie qui revient le plus fréquemment est la catégorie des maculations. Ce sont des taches de colorant, de petites dimensions correspondant à un contact léger avec une surface rocheuse. La main et les doigts ont été légèrement apposés, sans volonté de former une figure ou un motif, le colorant en surface n'est pas homogène. Les taches sont diffuses, évanescentes sans qu'un problème conservatoire ne soit venu impacter la forme finale de la trace (Figure 87 ; Figure 88).

Même si le geste est isolé, une maculation se compose souvent de particules de pigments suffisamment assurées pour qu'il soit possible de lire un contact de main.

Les 57 maculations sont généralement de petites tailles, comprises entre 6 cm de long et 3 cm de large. Nous les retrouvons sur des supports variés : 15 entités sur la paroi ; 26 sur les massifs rocheux ; 11 éléments sur le plafond ; 2 sur les blocs ; et 3 sur les pendants. D'un point de vue spatial, les maculations se retrouvent dans certaines zones de la cavité, elles sont polarisées au niveau du Seuil, de la Gloriette et d'un massif rocheux à côté du Panneau de l'entrée (Carte 16, Annexe 11). Nous les retrouvons aussi sur des panneaux et entre les zones de vides.

Leur présence paraît associée à des zones privilégiées. Cela laisse ainsi à penser que certaines formes géologiques comme le massif de la Gloriette ou le plafond du Seuil jouent un rôle potentiellement important dans la grotte y compris en l'absence de figure.



Figure 87 – Exemple de maculations sur un rideau stalagmitique du massif de la Gloriette, Salle Brunel, L.Louman.

Par ailleurs, les maculations sont répertoriées dans de nombreuses grottes parmi lesquelles l'on retrouve la grotte de Cougnac, Roucadour, Pech-Merle et la Peña de Candamo (Lorblanchet, 2010 ; 2016 ; 2020).

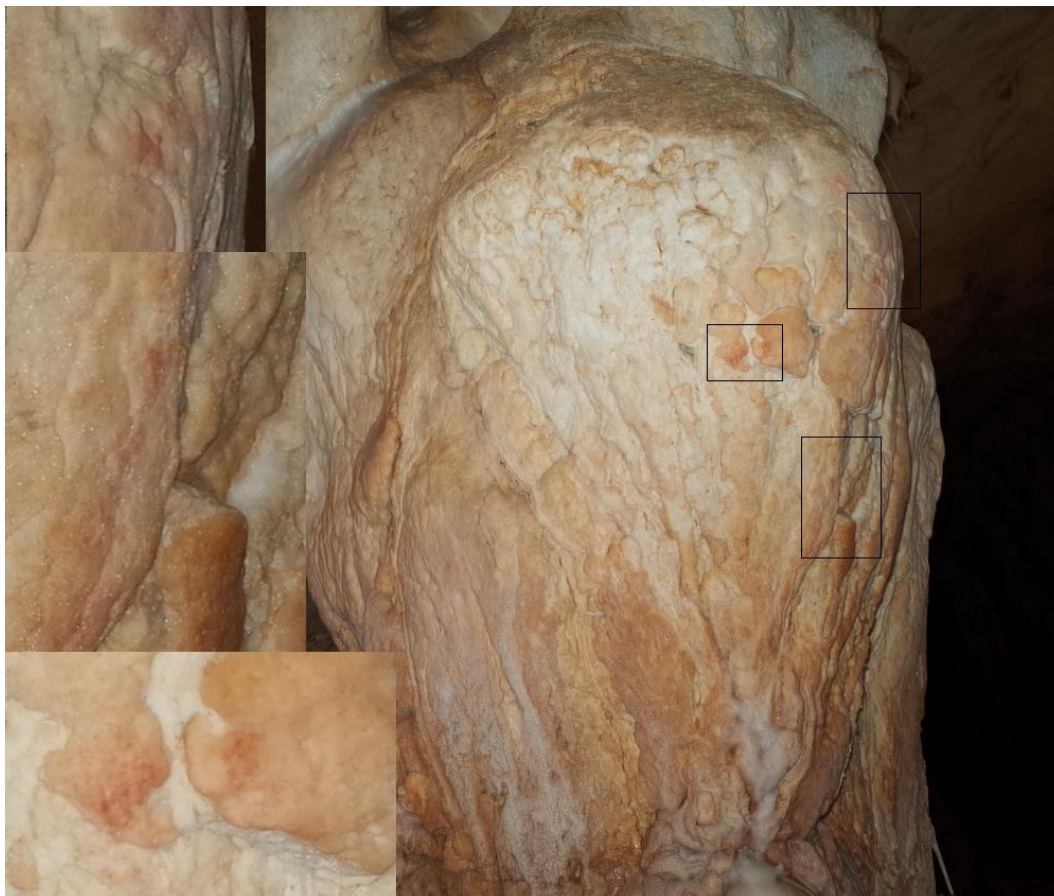


Figure 88 – Exemple de maculations autour d'un massif rocheux appelé le Hibou, situé à proximité du panneau de l'entrée, Salle Brunel, L.Louman.

4.4.6.2. - Les empreintes digitées

La seconde catégorie est les empreintes digitées, nous en dénombrons 23. Dans ce type de geste, la forme des phalanges imprimées est bien lisible contrairement aux maculations (Figure 89).

Les tailles de ces entités sont assez standardisées, car c'est la pulpe du doigt qui est utilisée. Néanmoins ces empreintes digitées sont légèrement étirées. Leur dimension moyenne est de 5 cm de long et 3 cm de large et semblables aux maculations. Ces empreintes se retrouvent essentiellement sur paroi (12), sur les pendants (4) et les stalactites (4), sur massifs rocheux (2) et sur retombées de voûtes (1). Les empreintes digitales ont des hauteurs élevées, car elles se retrouvent sur des stalactites et des pendants rocheux. Leur médiane est autour de 1,63 m. Cette catégorie est fréquemment en contact avec des entités figuratives à 65 % et des signes à 65 %.

Ces empreintes se retrouvent dispersées dans l'ensemble de la cavité (Carte 16). Elles sont comprises ou isolées des grands ensembles ornés. Leur distribution est parfois très localisée comme pour la galerie du Cactus. Dans la salle Brunel ces traces se trouvent dans des zones où le graphique est absent, elles créent des continuités entre les zones ornées.

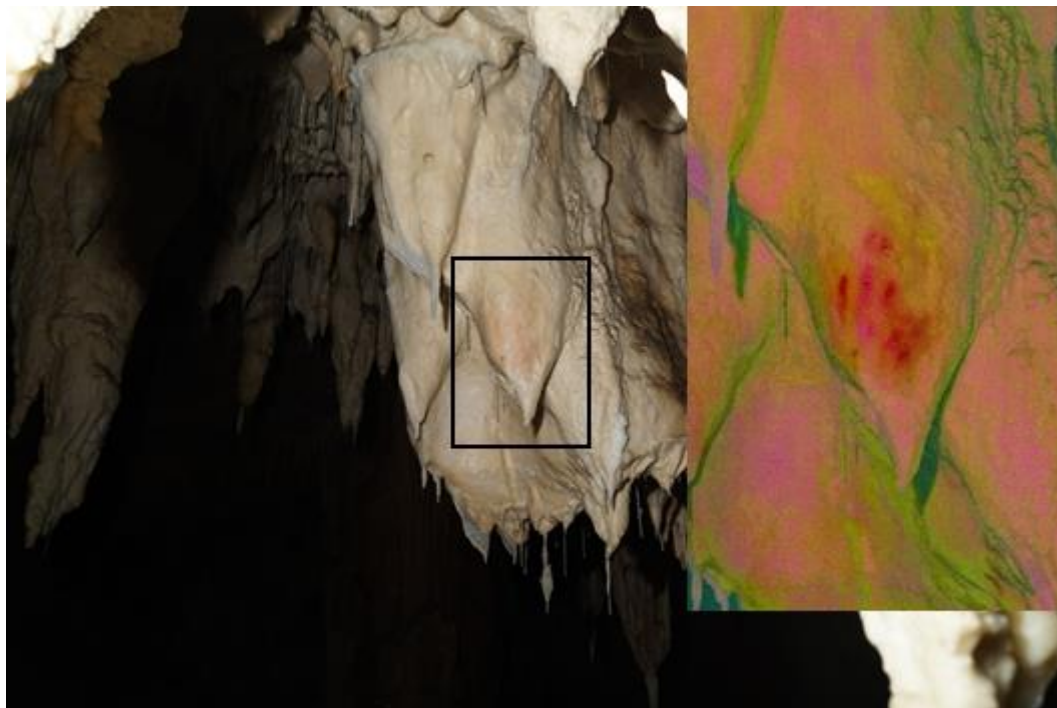


Figure 89 – Cartes des empreintes digitées, L.Louman.

4.4.6.3. - Le badigeonnage

Le badigeonnage est un geste anecdotique mais suffisamment caractéristique pour être décrit. Il est présent à deux endroits de la cavité : les pendants rocheux du Panneau de l'entrée et sur le promontoire de la Gloriette (Carte 16).

Nous avons identifié 7 gestes de badigeonnage qui montrent des aplats de couleur plus ou moins étendus. Au niveau du Panneau de l'entrée, ce sont trois pendants enduits et réalisés par aplats de couleur ; au niveau du massif de la Gloriette nous retrouvons également des formes de badigeonnage, mais les traces restent mal conservées (Figure 90).

En haut du massif, à proximité du panneau de la Gloriette, un endroit est fortement marqué par le colorant, c'est d'ailleurs à partir de ce point que l'ensemble des panneaux de la salle Brunel sont visibles.

Le badigeonnage de colorant présente, par ailleurs, des tailles élevées, en raison des larges aplats de couleur formés par étalement de la matière. La taille moyenne de ces aplats est à situer entre 21,3 cm de long pour 13,7 cm de large. Contrairement aux autres entités, nous le retrouvons sur certaines morphologies du relief comme les massifs rocheux et les pendants, mais non sur la paroi. Sa hauteur de réalisation,

autour de 1,10 m, est plus faible que la moyenne des traces. En ce qui concerne les relations spatiales avec les autres entités, 100 % de ces gestes sont situés à 80 cm d'un signe. Toutefois si nous pouvons observer cette distribution, l'analyse de ces 7 exemples reste trop limitée pour parler de tendances.



Figure 90 – Massif de la Gloriette, badigeonnage, M.Willis.

4.4.6.4. - Les impressions de main

Cette catégorie regroupe 6 taches similaires. Ce ne sont pas des points-paumes isolés, tel qu'il en existe dans la salle Brunel, mais bien des taches volontaires dont les contours sont visibles, mais dont une forme structurée ne peut être dégagée. Le geste paraît être réalisé à la main sans que l'on puisse s'en assurer.

Ces taches volontaires ont des tailles très standardisées (5 cm de long et 5 cm de large) qui viennent ainsi renforcer l'idée qu'elles ont été réalisées à la main, comme si la paume de main avait été légèrement imprimée sur le karst, mais sans désir d'y faire figurer un point. Elles sont réalisées sur paroi (1), blocs (1), stalactite (2) et

retombée de voûte (3). Les hauteurs d'exécution des taches sont relativement basses, la médiane est de 1,01 m.

La forme de ces taches est relativement caractéristique, elles semblent avoir été apposées minutieusement notamment sur les retombées de voûte. Si bien que nous les écartons des traces non volontaires. Elles se retrouvent sur des localisations particulières au centre de la Galerie du Cactus et sur une proéminence rocheuse du Panneau des Dominos. Deux d'entre elles se retrouvent sur des retombés de voûtes ou le cheminement ne peut être poursuivi (Figure 91 ; Figure 92).

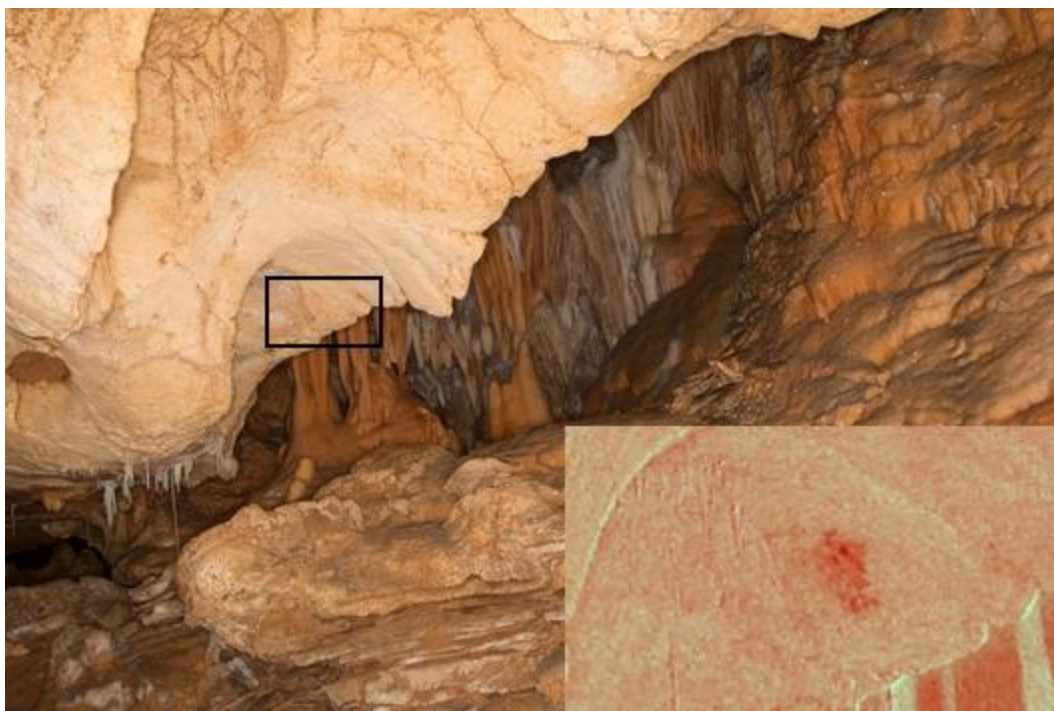


Figure 91 – Tache volontaire, Seuil, L.Louman.

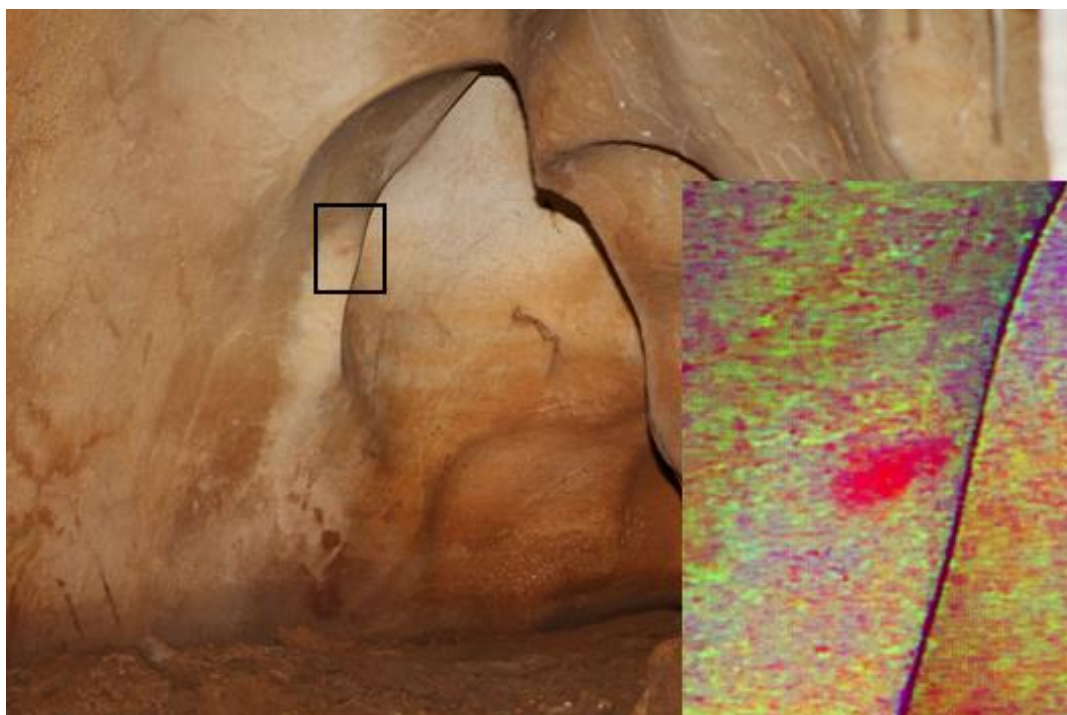


Figure 92 – Tache volontaire, Salle des Bauges, L.Louman.

4.4.6.5. - Le frottement du corps ou des vêtements

Certaines traces sont éparses et ne semblent pas avoir été réalisées avec la main ou avec un autre moyen d'application. Le colorant est diffus, les particules sont superficielles et espacées les unes des autres (Figure 93). Ces 3 entités semblent être la conséquence d'un contact du corps ou du vêtement sur la paroi.

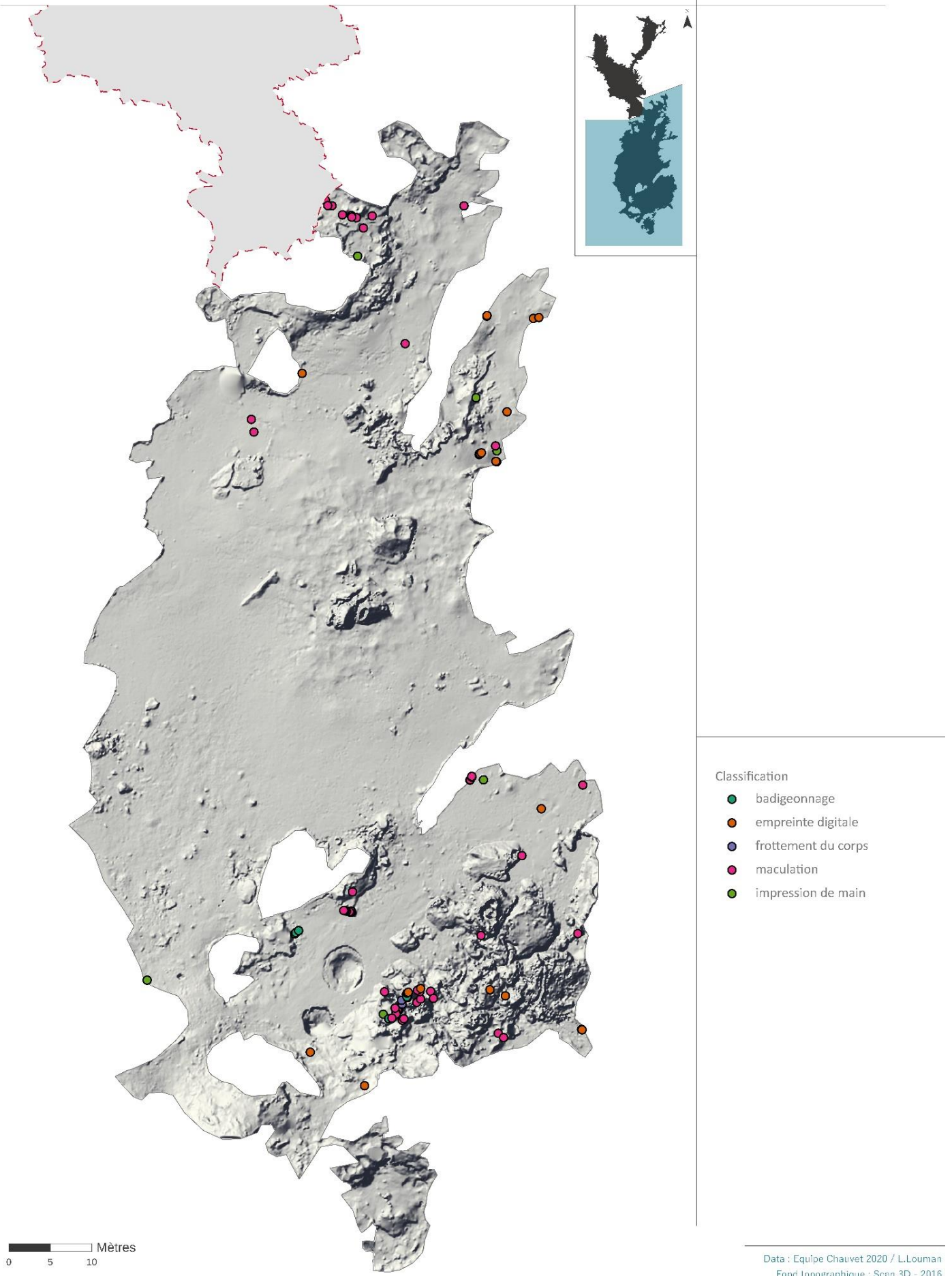
Leur taille est relativement faible autour de 5 cm même s'il reste compliqué de les mesurer au vu de la forme du dépôt. Elles se retrouvent sur paroi, mais aussi sur des zones de passage du massif rocheux. Elles sont situées assez bas, par rapport aux autres entités, la médiane est de 0,80 cm. Elles sont, par ailleurs, localisées sur des zones où l'espace de passage est réduit, comme sur le massif de la Gloriette où de nombreuses traces rouges et traces argileuses sont visibles.

Une de ces traces pourrait être attribuée au passage d'un ours des cavernes -la découverte de griffades dans la salle Brunel démontre que les ours ont pu aisément accéder à ces espaces situés en hauteur. Au contraire, à quelques dizaines de centimètres plus bas, nous remarquons également des frottements qui semblent dus à un contact de vêtement ou de peau et non à une main au vu de son emplacement à quelques centimètres du sol. Sur la cartographie ces traces apparaissent proches les unes des autres autour du massif de la Gloriette (Carte 16).



Figure 93 – Frottements, à proximité de la descenterie, Salle Brunel, L.Louman.

TYPE DE GESTES



Carte 16 – Les types de gestes, L.Louman.

4.4.7. - Les marques et les traces une catégorie non « quantifiables »

Dès le début de ce travail, nous avons mentionné la difficulté d'étudier cette catégorie à cause de la diversité des éléments. L'analyse des traces a permis d'éclaircir cette disparité.

Elles se retrouvent dans la totalité de la première partie de la grotte, recouvre largement l'ensemble des secteurs. L'étude de leur taille révèle cependant des dimensions faibles autour de quelques centimètres, elles mesurent pour une large majorité moins de 5 cm de long et 5 cm de large et d'une superficie de moins de 30 cm². Les hauteurs d'exécution sont comprises en majorité entre 1,40 m et 1,60 m de haut à partir du niveau du sol, elles sont assez représentatives du champ manuel. Cependant, elles se répartissent dans un intervalle de hauteur relativement large de quelques centimètres au-dessus du sol à plus de 4,70 m de haut. Ces hauteurs sont plus importantes que le corpus d'entités graphiques (figuratif et non figuratif). Elles présentent également de grandes variabilités d'exécution. Tous les types de support sont mobilisés (stalactite, pendant, massif rocheux, bloc) même si la paroi reste le support majoritaire.

L'étude des relations avec les autres catégories graphiques de la grotte atteste d'une certaine singularité. En effet, les traces sont éloignées des entités figuratives (70 %) et des signes (76 %). Elles apparaissent groupées aux côtés d'autres marques et en retrait des zones ornées.

A ce stade de l'étude spatiale, et avec ce tour d'horizon des caractéristiques nous remarquons des traces en marge des réalisations, qui apparaissent sur des supports variés, à différentes hauteurs, qui témoignent de comportements ou d'intentions variées. Ces résultats, en s'appuyant uniquement sur la localisation des traces et leur caractéristique, ne montrent pas une logique de distribution spatiale explicite en relation avec le dispositif orné. Toutefois il est intéressant d'aborder la question de la répartition spatiale des traces dans la grotte sous un autre angle, plus spécifique, afin de comparer leur répartition à travers les formes et morphologie de l'espace.

4.5. - La contrainte spatiale : une lecture topographique inédite

Après avoir décrit et analysé le corpus de traces, l'intérêt va porter sur les moyens de représentation du contexte topographique de la grotte. L'étude de répartition spatiale que nous avons entreprise s'est d'abord consacrée à spatialiser les traces de manière générale mais sans questionner directement la morphologie des secteurs de la grotte et sans prendre en compte la relation que ces traces entretiennent avec le

dispositif orné. Pourtant, l'analyse a laissé entrevoir des connexions entre certains types de gestes et des supports particuliers. Nous allons nous concentrer sur cet aspect et poursuivre l'investigation sur la question de l'interaction spatiale et sur les moyens de la représentation du contexte topographique de la grotte.

Certaines hypothèses interprètent ces traces comme des repères, des marques de balisage voire comme une conséquence du corps sur les parois. Pour démontrer la validité ou infirmer ces hypothèses il faut alors mobiliser des moyens de descriptions spatiales afin de comparer les différentes formes de l'espace et relever leur lien éventuel avec la répartition des traces et des zones particulières de la grotte. En conservant ce principe, nous allons mettre en place une nouvelle lecture cartographique de la grotte basée sur la contrainte spatiale. La notion de contrainte vise à classifier les différents secteurs de la grotte à travers leur complexité d'accès. Si les traces annoncent un changement topographique à venir, la cartographie devra permettre d'avancer sur ces hypothèses. Pour cela, l'analyse multicritère va être mobilisée, pour associer un ensemble de facteurs ayant un impact direct sur la circulation et l'accès à certains secteurs. Cette cartographie mettra, dans un dernier temps, en évidence la distribution des traces au regard de ces endroits faciles et complexes d'accès.

4.5.1. - Les espaces ouverts et fermés : des notions préalables à la modélisation de la contrainte

« A closer look at the caves of Bédeilhac, Fontanet, and Le Portel provides good examples. The descriptions of the caves themselves are intuitive and vague, and the same chamber is often described differently by different authors. The Galerie principale in Bedeilhac, for example, is described as vaste (Ministère de la Culture, 1984), proportions gigantesques (Sauvet 2007), or large, haute (Vialou 1986). In Bedeilhac, the lateral galleries are described as dimensions parfois fort exigues (Ministère de la Culture 1984), réduits et étroits (Vialou 1986), or d'accès difficile or défendue par un long passage rampant (Sauvet 2007). Other information concerning the cave morphology is given as a kind of circuit promenade through the cave. The information is more literal than structured » (Pastoors, 2011, p.379).

Ce passage de l'article de Andréa Pastoors illustre la difficulté de décrire la grotte objectivement. Les descriptions croisées sur la grotte de Bédeilhac témoignent de la façon dont chaque auteur a perçu et ressenti ces espaces. Ils évoquent par exemple la monumentalité, en termes « d'espace vaste », « espace haut », ou réduits « espace étriqué », difficile d'accès. Selon lui, les descriptions livrées sont comparables à des circuits de promenade. Circuit qui apparaît subjectif, car les auteurs se réfèrent à leur

propre expérience du cheminement. Si ces adjectifs traduisent une réalité partagée par d'autres individus, il est impossible pour le lecteur d'en mesurer la portée ou d'en faire l'expérience.

Les préhistoriens ont utilisé les termes génériques « d'espace ouvert » et « d'espace fermé ». Un espace ouvert peut correspondre à une zone large, profonde, haute, vide, accessible, où l'œil peut circuler librement sans se heurter à un obstacle. Cet espace peut être encore aussi associé à l'idée de profondeur, d'espace monumental ou la circulation est alors aisée. Au contraire, un endroit fermé est un endroit difficile d'accès, étroit, inconfortable, bas ou réduit. Ces concepts permettent alors de traduire une impression d'ensemble et sont utiles pour étudier la structuration spatiale de la grotte.

Ces concepts sont surtout utiles pour matérialiser des différences dans le déroulé ornemental d'une grotte. La localisation de dessins dans un espace fermé n'a pas la même signification que dans un espace ouvert. La présence graphique dans une zone fermée renvoie plus à l'idée d'un art secret, individuel, réservé potentiellement à des initiés. Par opposition à un art accessible, situé dans un endroit ouvert associé à l'idée de collectif, de groupe, de la scénographie (Bea et Utrilla, 2008). La vision de l'espace préhistorique est alors fréquemment pensée de façon antagoniste : lieux fermés/endroits ouverts, art caché/art collectif, art privé/art public, art profane/art sacré, vie/mort. Même si ces notions sont à nuancer car la réalité archéologique paraît bien plus complexe que cette vision binaire, certaines grottes répondent toutefois à ces caractéristiques. Nous pouvons citer la grotte de Chufín (Ochoa et García-Diez, 2018) ou la grotte Pergouset (Lorblanchet, 2001), la grotte de Marsoulas par Pascal Foucher (Foucher, 1991) voire la grotte de Lascaux (Aujoulat, 2002).

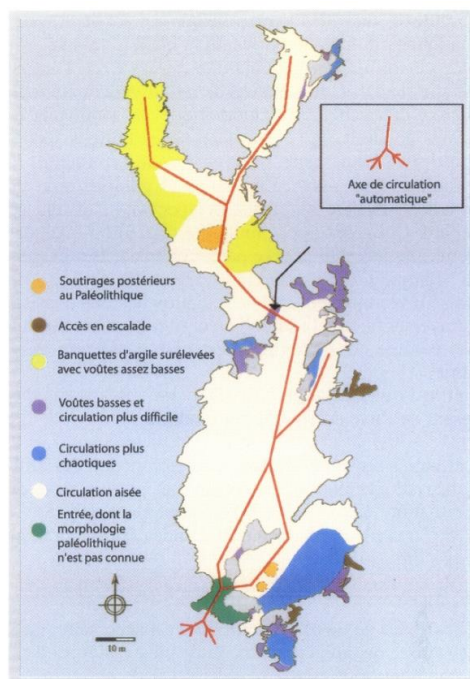
Ces notions d'espace ouvert et fermé sont donc utiles pour comprendre les agencements spatiaux et mettre en avant les localisations sélectionnées par les préhistoriques. Cependant, comme le mentionne Michel Lorblanchet, ces concepts restent flous et subjectifs et sont aussi le résultat d'appréciations personnelles et culturelles : « *Les notions de zone d'entrée de pénombre d'obscurité totale et de zone profonde sont imprécises surtout dans les cavités de configuration complexe et sont donc liées à des appréciations personnelles...* » (Lorblanchet, 2010, p.299). Elles ne présentent pas de validité scientifique en tant que telle. Ainsi, la question se pose de savoir comment mesurer ou représenter ce sentiment général d'espace étriqué ou monumental. Représenter ces concepts dans une cartographie permettra d'une part d'étudier l'organisation ornementale de la cavité au regard de ces espaces, mais aussi de pouvoir les quantifier. L'idée est également de pouvoir interroger ces irrégularités de volumes et de formes qui contraignent la progression. C'est en suivant cette démarche que nous observerons comment les paléolithiques ont

mobilisé l'espace, en fonction de quelles formes topographiques ? Ces notions nous fournissent un cadre de référence pour travailler sur la représentation de la contrainte et l'impact qu'elle peut avoir sur l'ornementation générale et sur les traces.

4.5.2. - Objectivité des espaces : la représentation de la contrainte

Plusieurs auteurs ont ouvert la voie pour retranscrire ces impressions générales d'accessibilité à partir des contraintes topographiques. Yannick Le Guillou pour Chauvet a restitué les différentes formes morphologiques depuis l'exploration de terrain (Le Guillou, 2005). Cette première cartographie illustre ainsi la difficulté de circulation dans les espaces (Carte 17). La cartographie est alors un support approprié pour comparer, associer et dissocier les espaces. Les principaux éléments structurants du paysage souterrain peuvent être classifiés. Yannick Le Guillou traduit ses impressions par les termes suivants « de voûtes basses », « zones chaotiques ». Il associe d'une part la connaissance topographique issue du terrain et l'expérience personnelle tout en s'appuyant sur une restitution géologique des éléments. Cette carte est une base de départ permettant de distinguer les différents éléments. Les formes géomorphologiques conditionnent ainsi fortement les sensations d'ensemble.

Dans un article paru en 2018, Blanca Ochoa propose une cartographie qui illustre l'idée d'art secret et privé (Figure 94). Cette cartographie tient compte des cheminements parcourus en fonction de la taille, de l'escalade et des champs visuels pour accéder aux œuvres (Ochoa et García-Diez, 2018). La question des champs visuels mobilisera nécessairement la cartographie pour restituer les observations de terrain. La carte devient alors un support privilégié (Villeneuve, 2008 ; Jouteau et *al.*, 2019). Les SIG seront aussi mobilisés dans la paléospéléologie pour la modélisation des cheminements ou encore les zones de visibilité des entités graphiques (Intxaurbe et *al.*, 2020 ; 2021).



Carte 17 – Zones topographiques de la grotte Chauvet (Le Guillou, 2005).

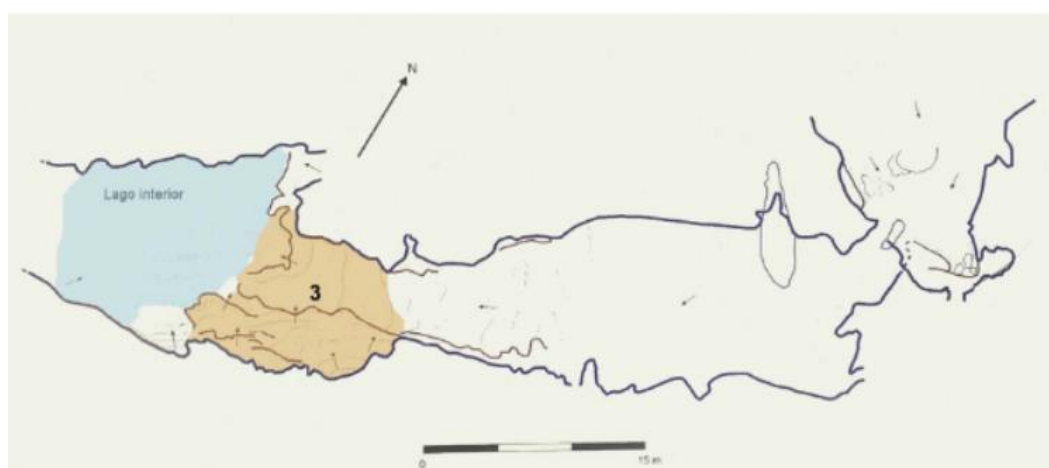


Figure 94 – Carte de la grotte Chufín (Ochoa et Garcia-Diez, 2016).

À Chauvet, de nombreuses cartes ont été proposées par Julien Monney, Elisa Boche et Estelle Ployon avant la publication de l'Atlas. La cartographie qu'elle soit réalisée avec un logiciel de DAO ou CAO/SIG devient alors un des moyens pour restituer et simuler le déplacement de sapiens. Ces travaux réalisés font écho aux courants de la cartographie du sensible qui se retrouve notamment en géographie, en urbanisme ou en architecture. Ce courant s'intéresse à la perception des individus vis-à-vis de l'espace, mais surtout aux moyens mis en œuvre pour représenter cette perception par la cartographie. Elle permet de passer d'un contexte, d'un sentiment à une appréhension de l'espace individuel ou collectif. Ces champs de recherche s'associent aujourd'hui à l'utilisation des SIG. La cartographie du sensible permet aux auteurs de traduire une expérience phénoménologique du réel. Depuis quelques années, les outils des sciences spatiales sont détournés de leur fonction quantitative

pour s'adapter à des méthodes plus qualitatives ou méthodes mixtes. Ces méthodologies permettent de traduire, de représenter, d'exprimer des émotions, des sensations, ou des ressentis en s'appuyant sur les résultats des entretiens avec la population (Milton, 2015). La cartographie et les SIG permettent ainsi de s'approcher du ressenti des populations, aussi bien sur leur perception de l'environnement direct que sur leur degré de vulnérabilité ou leur préférence d'itinéraires et de circulation dans une agglomération. Les problématiques posées aujourd'hui par ces cartographies ne concernent pas seulement une perception territoriale, mais cherchent aussi à traduire et à s'approcher de la vision des habitants. Ces nouveaux courants cartographiques sont alors des sources d'inspiration à privilégier pour questionner les impressions d'ensemble. Même si ces travaux sont une source d'inspiration, ils demeurent, malgré leur engouement actuel complexe à mettre en place pour l'archéologie. Les facteurs culturels qui régissent la manière d'occuper l'espace reste cependant inconnue et impossible à modéliser faute de temps et d'accessibilité à l'information. Si la géographie du sensible, aujourd'hui utilisée en archéologie, séduit par les perspectives qu'elle offre, elle reste peu transposable à l'archéologie préhistorique. Le seul moyen pour étendre notre rayon d'action et le rendre viable reste la modélisation des obstacles et des éléments qui affectent physiquement le déplacement d'un corps humain.

4.6. - Modéliser le lieu : la contrainte spatiale par l'analyse multicritère

4.6.1. - L'analyse multicritère

La cartographie du sensible et les notions d'espaces ouverts et fermés fournissent un cadre de référence, toutefois nous ne disposons que de l'emplacement des vestiges et de la configuration générale de la grotte pour notre analyse.

La méthodologie choisie va donc s'appuyer sur l'analyse multicritère. Cette méthodologie permet de discriminer des différences spatiales entre les espaces et est souvent employée pour l'aide à la décision. Elle se met en place dans les années 1980 (Laaribi, 2000). Appliquée à l'étude d'une zone géographique ou d'un territoire, elle vise, par la somme pondérée des informations contenues sur plusieurs couches géographiques à aboutir à un nouveau découpage de l'espace. Cette méthodologie s'applique à différents domaines : la planification urbaine (d'un schéma directeur d'aménagement urbain), la gestion des risques (mesurer la vulnérabilité des populations), la recherche de terrains propices à l'éolien ou encore à la géologie (Maslov, 2015 ; Benkahoul et *al.*, 2017). Ces méthodes d'AMCH, ou encore les logiques floues permettent de proposer des schémas décisionnels en fonction des critères intégrés. Dans notre cas, il ne s'agit pas de considérer une seule particularité, mais

de modéliser l'ensemble des zones en fonction des caractéristiques sélectionnées. La méthode employée vise à réaliser des sommes pondérées des différentes couches géographiques sélectionnées. Cette méthode implique une bonne connaissance de l'information utilisée en entrée, car la pondération sera le résultat d'un choix empirique. Dans notre cas, nous nous sommes limités à la méthode de la somme pondérée, car nous ne visons pas une proposition unique, mais une mise en parallèle des différentes zones morphologiques de la grotte. Cette base de travail peut être reproductible et nous permettra d'analyser les éléments au regard de cette nouvelle définition spatiale.

Dans cette étude, l'utilisation de l'analyse multicritère répond à plusieurs enjeux : décrire les espaces ressentis en fonction de leur morphologie et la présence d'obstacles afin de traduire les impressions d'espaces ouverts et fermés mentionnés par les auteurs.

Il s'agit de proposer une nouvelle forme de description spatiale qui ne s'appuie pas seulement sur la sectorisation des salles. Cette création cartographique servira de base pour essayer de mettre en avant l'existence du lien entre la forme de l'espace et la présence des traces.

4.6.2. - Les critères sélectionnés

Pour la mise en place de la représentation, plusieurs types de critères sont retenus car ils impactent directement la progression spatiale et la morphologie des espaces.

Le premier critère sélectionné impactant la perception de l'espace est l'inclinaison du relief. La mise en évidence des pentes, employées dans les études du relief, montre la déclivité de chaque cellule du raster. Plus les degrés sont importants, plus le relief est escarpé ; plus le degré est faible, plus l'espace est plat. La localisation des pentes révèle les zones où le relief est irrégulier nécessitant de l'escalade et les zones où le relief est plat et régulier. Les pentes soulignent ainsi les zones avec des pentages importants contraignant l'accessibilité. Dans le cadre des zones fermées, la présence de pentes est plus importante, elle traduit une irrégularité de relief ou d'espace pouvant contraindre la circulation du regard. La complexité de circulation est également fortement augmentée dans les contextes de faible luminosité voire de nuit.

Le second critère porte sur les hauteurs de circulation. La hauteur entre la surface du sol et du plafond est un outil utile pour mettre en évidence la qualité de la circulation. Plus l'espace est restreint, plus la circulation est limitée. Par ailleurs, cette représentation peut aussi traduire un sentiment de monumentalité, quand la hauteur de plafond est localisée à plus de 5 m, le sentiment d'espace est alors

beaucoup plus important. Cette hauteur peut être rapportée à l'échelle humaine et ainsi visualiser les zones où la position debout est restreinte.

Le troisième critère correspond aux irrégularités de surface. Les zones escarpées à cause de la présence de blocs, d'effondrements, contraignent la progression de la marche. Une zone perturbée par le relief présente une circulation plus complexe et moins naturelle. L'accumulation de ces irrégularités crée également une impression d'espace rempli, contraint là où les zones vides d'objets paraissent plus grandes. L'un des objectifs est de parvenir à représenter l'ensemble des irrégularités de surface indépendamment de leur nature géomorphologique. Matérialiser l'ensemble de ces irrégularités de blocs aux chutes de plancher stalagmitique permettra de matérialiser l'ensemble des obstacles qui se trouvent sur un axe de circulation.

La distance de circulation à partir de l'entrée est prise en compte. Plus un endroit est éloigné de l'entrée, plus c'est un endroit difficile d'accès et inaccessible. La distance est estimée en utilisant les pentes, car un endroit peut être géographiquement proche, mais l'irrégularité de relief et les multiples zones d'escalade peuvent contraindre la marche. Cette analyse matérialise les zones les moins accessibles de la première partie de la grotte.

Faisant converger ces 4 critères, c'est la contrainte de circulation qui va être modélisée. Ces critères doivent être analysés au regard d'un élément contextuel celui de la lumière. En fonction des contextes de luminosité, la puissance et l'intensité vont influencer sur la perception des irrégularités, pentes, distances et hauteurs. Des travaux, menés à Chauvet apportent des éléments de réponses et permettent de mesurer l'étendue de la lumière du jour dans la grotte. Elle s'étend seulement au-delà du premier panneau de la salle Brunel et se retrouve dans la première partie de la salle des Bauges (Delannoy et *al.*, 2016).

Un éclairage faible influe également sur la perception des couleurs et sur les effets de profondeur qui en découlent. Dans le noir ou dans les espaces éloignés de la lumière naturelle, la couleur ne se perçoit plus de la même manière. Les effets ont pour conséquence une uniformisation des couleurs et les objets ont tendance à devenir plus flous. Les couleurs intenses sont moins perceptibles, seule la couleur blanche reste visible. La température des couleurs, en fonction de la source de lumière produite, a également une incidence sur le rendu. L'appréhension générale des couleurs est complexe à quantifier et l'impact de cette perception (sensation de monumentalité ou d'espace restreint) est aujourd'hui difficile à modéliser, car elle fait intervenir de multiples facteurs sensoriels.

Néanmoins des études actuelles et subactuelles apportent des éléments d'appui. Des travaux réalisés sur un groupe de randonneurs expérimentés dans un parc naturel met en évidence que durant la nuit des repères mentaux étaient mobilisés

pour circuler dans la nature (Kettunen et *al.*, 2014). Ces travaux ont contribué à démontrer qu'en l'absence de couleur l'intérêt était porté sur les irrégularités de relief, les pics, les escarpements que le regard parvenait plus rapidement à distinguer que les arrondies et les bosses. La perception des lignes et des reliefs devenait alors des éléments prégnants sur lesquels le regard se rattachait. Ces informations renforcent notre position sur l'intérêt de prendre en compte le relief du milieu souterrain. Là où la couleur est visible, le relief devient alors un élément de repère.

4.6.3. - Les données mobilisées

Pour effectuer une carte de synthèse des morphologies spatiales, la cartographie mise en place s'appuie sur plusieurs niveaux d'informations géographiques issues de modèles numériques de terrain²⁹.

Suite à cette opération, nous avons récupéré les scan 3D. Les scans ont été rassemblés, nettoyés et traités sous CloudCompare. Ce travail a été relativement chronophage, car les premières parties de la grotte comptent 663 scans soit 566 Giga de données à traiter. Les nuages de points sont échantillonnés à 6 cm pour faciliter les temps de calcul, puis sont segmentés afin de réaliser deux modèles numériques de terrain : sol et plafond. Pour la création des MNT, Spatial analyst d'ArcGIS Pro a été utilisé.

Le MNT du sol a été réalisé grâce à deux méthodes d'interpolations. La première, l'interpolation minimum (MNT min), concerne les zones basses et autour des passerelles les points bas ont été conservés. Cela permet d'éliminer les dernières traces de bruits restantes notamment autour des passerelles qui ont entraîné de fortes réflectances durant la captation. Pour, la seconde interpolation, les points maximums ont été utilisés afin de conserver le niveau de sols le plus haut (MNT max). Ce choix d'un MNT en temps est basé sur notre propre connaissance du terrain. Pour certains endroits, la salle Brunel présente plusieurs niveaux de circulation causés par de multiples effondrements de blocs, le niveau supérieur de circulation a été conservé, car ce sont les endroits où les traces de présence humaine ont été observées et où la circulation est complexe. Dans le cas de la galerie de la Bretelle en revanche, plus complexe, car la configuration de cette galerie est méconnue. Enfin, le deuxième MNT du Plafond a été réalisé également avec une interpolation minimum afin de conserver les points les plus bas. La réalisation des MNT du sol et

²⁹ Les modèles numériques de terrain sont une représentation topographique créée à partir de l'altitude du terrain. Dans notre cas, il s'agit d'un support de travail initial caractérisant le relief tout en calculant les hauteurs. La création des MNT a reposé sur les dernières acquisitions 3D effectuées par le cabinet Perazio en 2016.

du plafond présente certaines limites. La question des niveaux de sol par exemple peut se poser à plusieurs reprises et reste un découpage relativement arbitraire, car la paroi n'est pas droite et plusieurs niveaux de sols peuvent être identifiés. Ainsi, il ressort déjà un biais, la création des MNT repose sur une connaissance préalable de la configuration interne. La création d'un MNT est alors orientée vers la problématique de départ et par la connaissance préalable du terrain.

La modélisation n'a pu se faire que dans la configuration actuelle de la cavité. Les travaux en géomorphologie ont montré par ailleurs que la configuration du porche d'entrée, suite à son effondrement, n'est plus comparable à celle aujourd'hui rencontrée. D'autres zones comme la Bretelle, ne sont pas restituées telles quelles. La présence des deux soutirages de l'entrée n'existait pas dans leur configuration paléolithique. Bien que la grotte Chauvet soit dans des conditions relativement proche de la configuration paléolithique certaines zones présentent ainsi des différences dont il faudra tenir compte dans l'étude (Carte 18). Par ailleurs, les épisodes actifs de formation des spéléothèmes changent également la configuration de la grotte. Des zones comme la salle Brunel ou la jonction entre la galerie du Cactus et le début des panneaux rouges présentent également des configurations différentes de celle du Paléolithique. Nous avons néanmoins pu mesurer cet impact grâce à la réalisation d'un modèle 3D de la paléogrotte réalisée dans le cadre du projet TIP-TOP EDF. Ainsi, les niveaux de sols ont pu varier à cause des épaisses couches de calcite qui viennent par ailleurs recouvrir certains blocs ou massifs.



Carte 18 – Etats des sols et présence de calcites anciennes et zones modifiées après la fréquentation paléolithique (Delannoy et al., 2020).

Une dernière limite concerne la segmentation du nuage de points sol/plafond qui se révèle complexe dans certains cas. C'est pourquoi la connaissance du terrain est nécessaire pour effectuer cette séparation. Les MNT ne pouvant prendre en compte qu'une seule valeur Z, c'est un critère permettant d'orienter la séparation des deux niveaux (Figure 95).

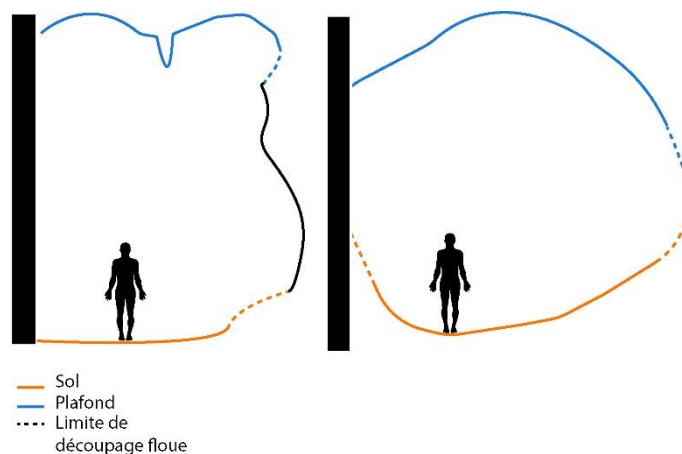


Figure 95 – Découpage des niveaux de sol peuvent apparaître arbitraires dans certains cas, L.Louman.

Certaines zones du MNT ne présentent pas de valeurs dues à la complexité de scanner l'endroit (chaos de blocs). Les écarts de valeurs de certaines cellules ont également posé problème c'est pourquoi un filtre morphologique a été utilisé pour lisser les écarts de valeurs trop importants et dont le bruit restait problématique. Enfin, l'utilisation de « statistiques focales » a été mobilisée pour remplir les cellules vides (Figure 96).

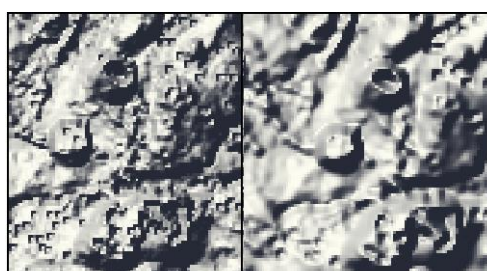


Figure 96 – Utilisation de statistiques focales, L.Louman.

L'utilisation d'un shapefile représentant les contours de la grotte a été créée. Il fait suite à l'ensemble des contours topographiques du sol créés, François Rouzaud, Frederic Maskud, Yannik Le Guillou, et les synthèses d'Elisa Boche et Julien Monney disponibles dans le socle SIG Chauvet (Delannoy et *al.*, 2020). Nous avons néanmoins recréé ces derniers contours, car les scan 3D ont permis d'intégrer la topographie de nouvelles zones comme la galerie de la Bretelle ou le fond du Cactus.

4.6.4. - Matrice et pondérations

L'analyse multicritère vise à établir le croisement de 4 critères pour aboutir à une carte de synthèse. Au sein de chaque analyse, des sous-critères ont également fait l'objet de pondération afin d'estimer l'impact de la topographie.

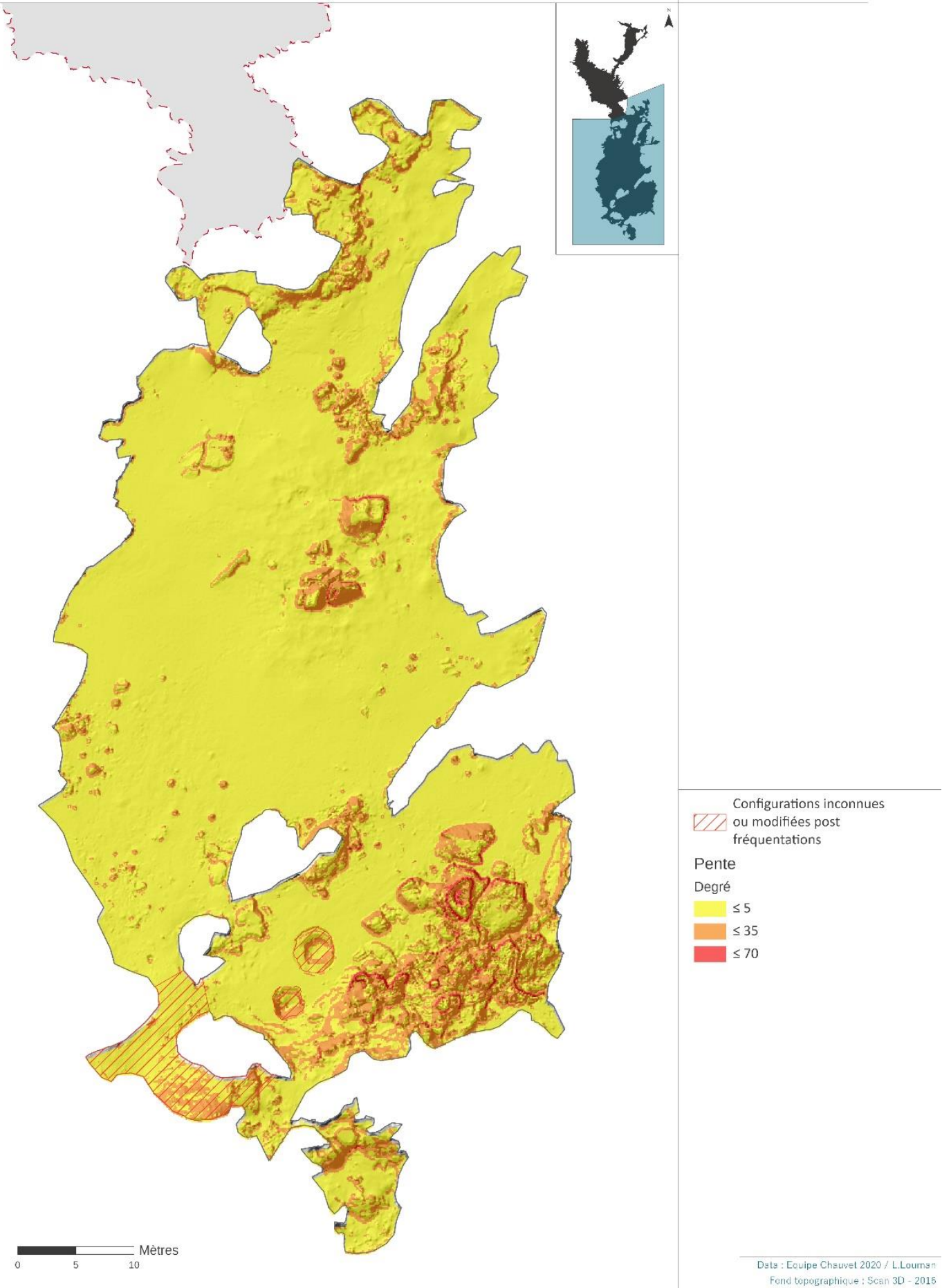
L'outil pente identifie la déclivité de chaque cellule de la surface raster. Trois niveaux de nivellement ont été retenus : les pentes inférieures à 5°; les pentes à faible nivellement comprises entre 5° et 35°; les pentes fortes supérieures à 35°. Les pentes ont une très forte incidence sur le déplacement et l'accessibilité des espaces c'est pourquoi elles ont une pondération importante. Elles ont une forte conséquence sur le nivellement du terrain et complexifient l'accès aux espaces (Carte 19).

L'analyse du rapport sol/plafond a été réalisée pour montrer la complexité d'accès. Par soustraction du plafond avec le MNT du sol, il a été possible de quantifier l'espace de déplacement disponible³⁰. Comme précédemment ces hauteurs ont été reclassées. Les hauteurs au-delà de 2,30 m sont considérées comme des hauteurs élevées où il est possible de circuler librement. Les hauteurs comprises entre 2,30 m et 1,80 m sont accessibles bras tendus, elles ne sont pas soumises à des contraintes de circulation, mais viennent néanmoins cloisonner l'espace. Un niveau de plafond situé entre 1,80 m et 1,50 m, va impacter la circulation d'un individu qui va être obligé de se baisser légèrement. Les hauteurs incluses entre 1,50 m et 1 m, entraînent un déplacement accroupi. Et sous 1 m, l'individu se déplace en position allongée en rampant (Carte 20).

Le troisième élément pris en compte dans **l'analyse concerne la présence de zones irrégulières de surface**, la présence de blocs et d'éléments rocheux pouvant contraindre la progression. L'accumulation de ces irrégularités a également des conséquences sur le ralentissement, sur la profondeur de visualisation. Pour traduire ces états de surface, nous avons donc combiné deux traitements raster. Pour l'analyse « des irrégularités des surfaces », il n'existe pas d'indices pour sélectionner à la fois des blocs situés sur des zones planes jusqu'à de gros massifs rocheux. Le choix s'est donc porté sur la combinaison de deux indices : un indice de rugosité du sol (Texture) et un indice de hauteur relative (Relative Height). Le premier raster mesure la rugosité du sol visant une approche zonale des reliefs. L'analyse de texture vise à faire ressortir les changements de signe d'aspect de pente ou de courbure par unité de surface. Précédemment appelée « fréquence des crêtes et intervalles » ou « rugosité » (Iwahashi et Kamiya, 1995 ; Iwahashi et *al.*, 2007).

³⁰ Cette analyse des hauteurs de la grotte. Sur cette analyse, il existe une limite qui concerne le diverticule des ours, en réalité cette zone devait apparaître plus en zone $\frac{4}{5}$ même si elle ne présente pas de dénivelé et difficulté, mais les données scan n'ont pas permis de scanner la totalité de l'intérieur. Cette erreur va ainsi se répercuter sur la suite du travail.

PENTES



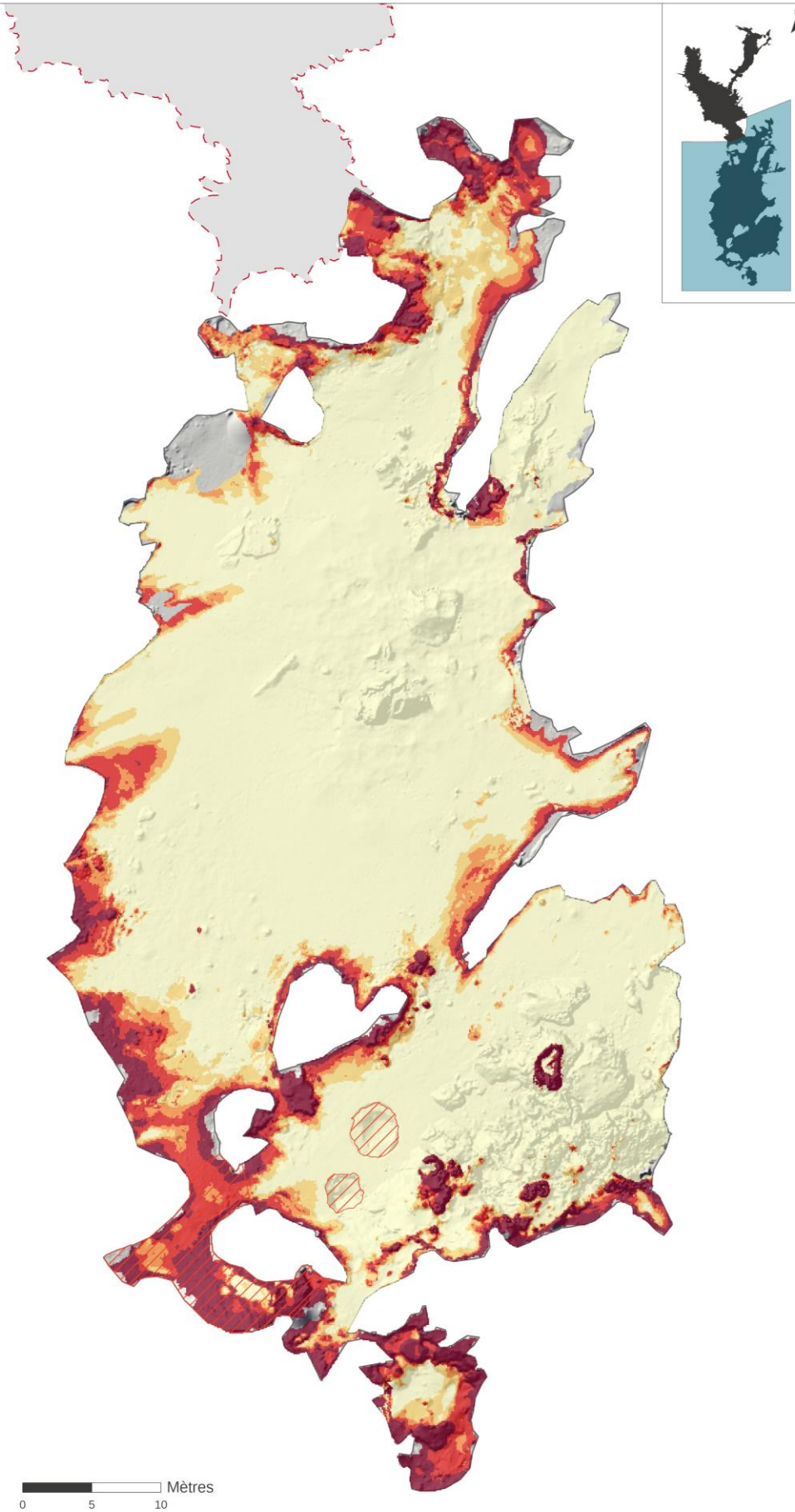
Carte 19 – Analyse des pentes, L.Louman.

Le second indice mesure la valeur relative entre le sol et l'écart existant avec le volume. Plus cet écart s'avère élevé, plus l'indice est important. Les zones où le relief est très prononcé seront donc soulignées en comparaison des zones où la hauteur générale (celle du sol) est proche (Carte 20).

L'analyse de la rugosité a pu être classifiée en 5 classes, le chiffre 5 renvoyant à des « éléments majeurs du relief » et le 1 renvoyant à « l'absence de relief ». L'indice de hauteurs relatives a pu être intégré directement à l'analyse avec la valeur 5. Cette valeur a été attribuée, car les éléments du relief sélectionnés par le traitement des hauteurs relatives correspondent pour une large majorité à la présence de piliers rocheux ou colonnes qui sont infranchissables. Cette analyse met en avant les éléments physiques et bruts du relief, mais tient aussi compte de l'accumulation de ces éléments dessinant alors des zones complexes d'accès (Carte 21).

La distance coût est le dernier critère considéré. Cette analyse calcule la distance de chaque zone en intégrant les contraintes de progression du fait de la déclivité des pentes. La carte montre les lieux les plus proches en tenant compte de la distance euclidienne, mais également à travers leur hauteur pente cumulée (Carte 22). Cela permet alors de mesurer l'impact du relief dans le déplacement. Le calcul de la distance vise, pour chaque cellule, à calculer la distance du moindre coût faible vers la source la plus proche.

HAUTEUR SOL-PLAFOND



Configurations inconnues
ou modifiées post
fréquentations

Hauteur à la surface du sol

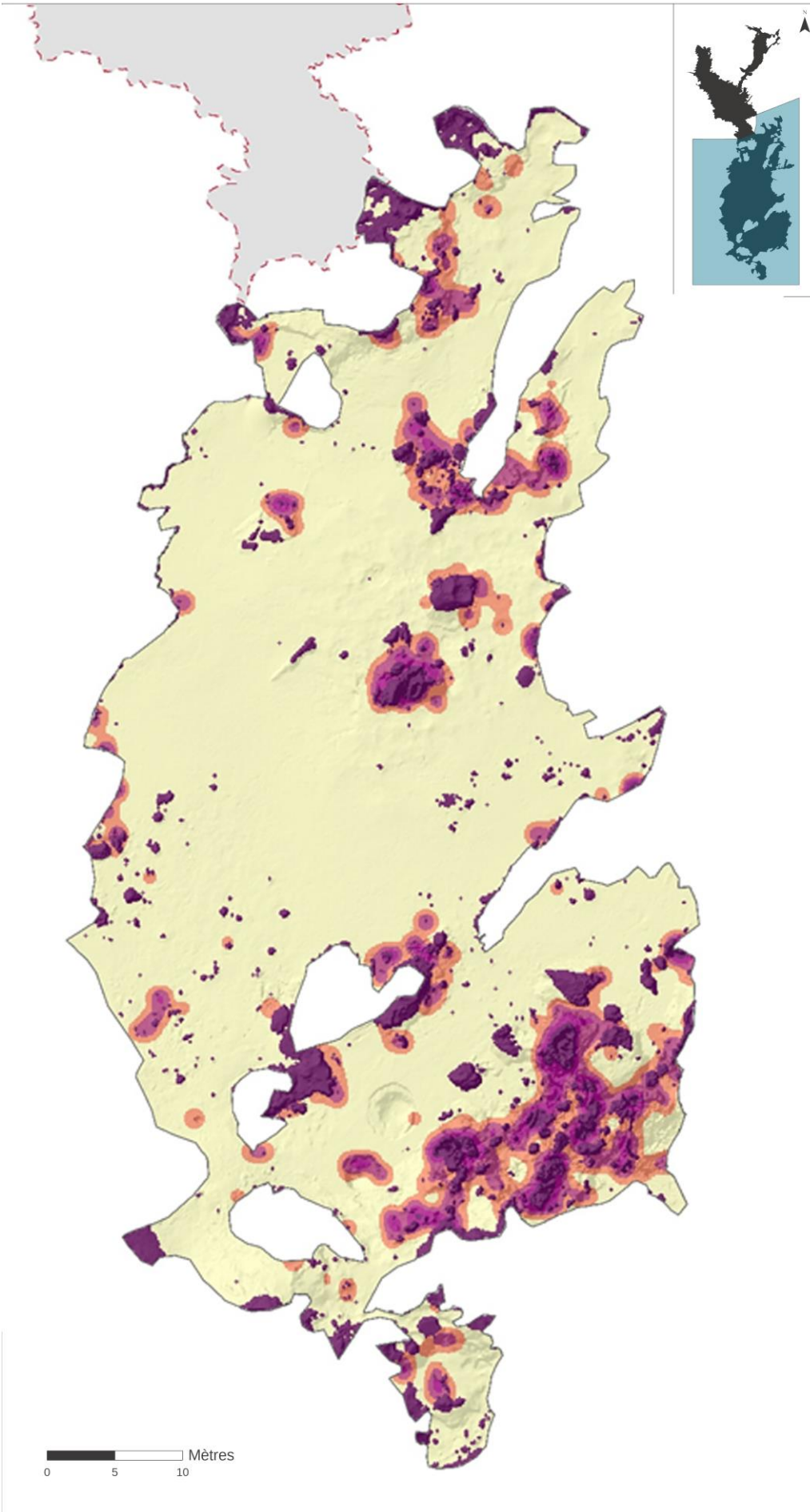
Mètre

- ≤ 15
- ≤ 2.30
- ≤ 1.80
- ≤ 1.50
- ≤ 1

Data : Equipe Chauvet 2020 / L.Louman
Fond topographique : Scan 3D - 2016

Carte 20 – Analyse de la hauteur sol/plafond, L.Louman.

NIVEAUX D'IRRÉGULARITÉ



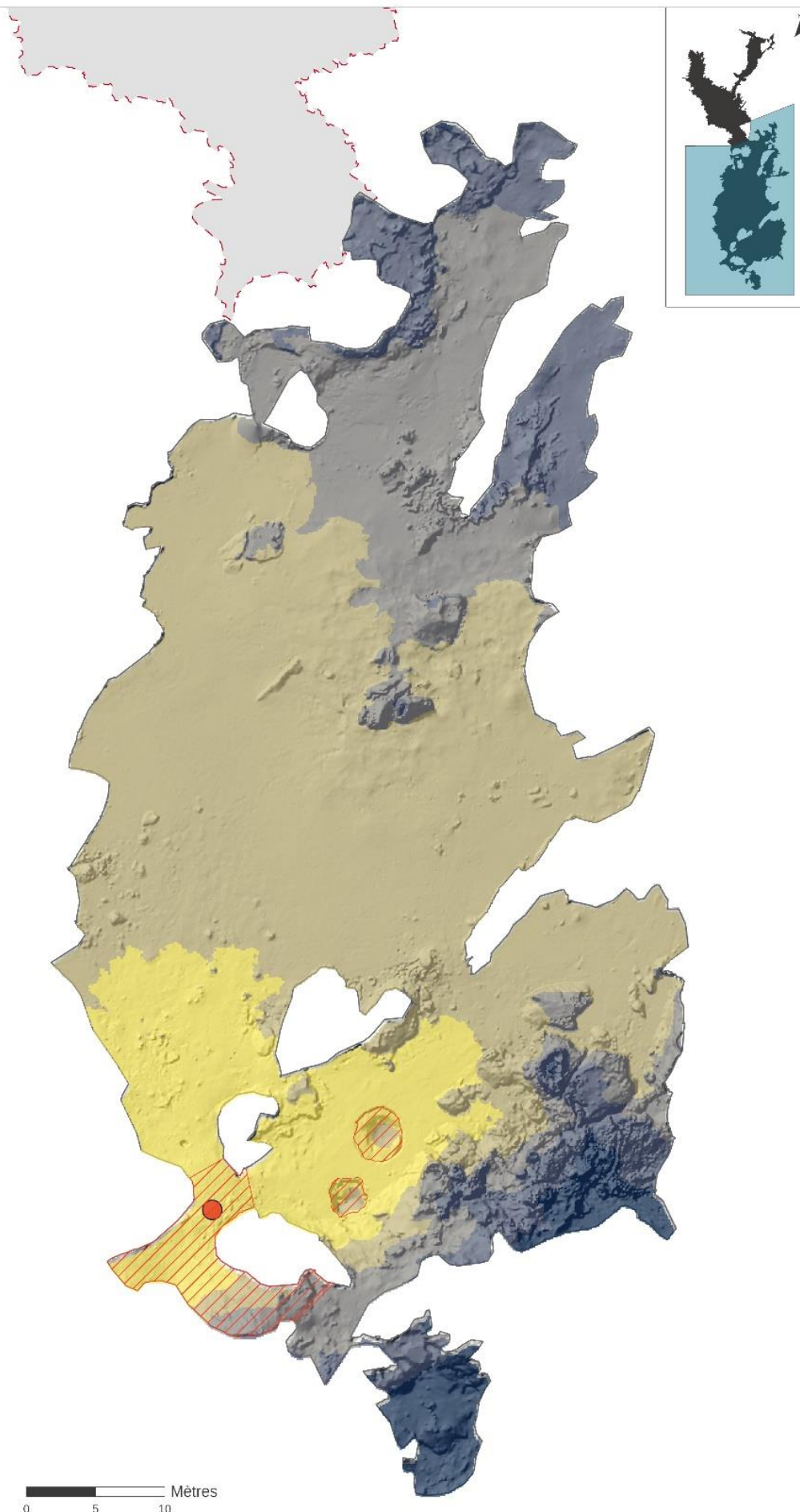
L'analyse des irrégularités est basée sur deux types d'indices : l'indice de rugosité de surface et l'indice des hauteurs relatives. La combinaison de ces deux indices a permis de dégager 5 niveaux irrégularités. Le niveau 1 étant l'absence d'objets ou d'obstacles en surface, 5 étant la présence de blocs et de reliefs imposants.

- Irrégularité de surface
- 1
 - 2
 - 3
 - 4
 - 5

Data : Equipe Chauvet 2020 / L.Louman
Fond topographique : Scan 3D - 2016

Carte 21 – Analyse des irrégularités de surfaces, L.Louman.

DISTANCE DE COÛT



L'analyse du coût distance repose sur le calcul du coût cumulé à travers la surface de moindre coût.

Il permet de dégager les effets de proximité non dû à la distance euclidienne mais à travers le coût énergétique engendré par la topographie du lieu.

Configurations inconnues ou modifiées post fréquentations

Point départ

Distance-coût

Value

1

2

3

4

5

Données : Equipe Chauvet 2020 / L.Louman
Fond topographique : Scan 3D - 2016

Carte 22 – Analyse de la distance de coût, L.Louman.

Chaque type d'analyse raster a pu être classifiée ce qui a permis de délivrer un poids et une valeur. Ces traitements ont été pondérés (Tableau 16). Les analyses de pentes et les irrégularités de surface ont un poids de 2, car elles sont un obstacle réel aux déplacements dû au contexte de faible luminosité. Elles sont contraignantes, car elles viennent fermer la visibilité. Le poids de l'analyse des hauteurs de plafond est resté à 1, enfin l'analyse des distances de coût a été pondérée à 0,5, car il y a une redondance d'informations avec les pentes. Cette analyse tient donc plus facilement compte des zones escarpées. Ces pondérations sont tirées de l'observation de terrain.

| | Pondération | Critère 1 | Critère 2 | Critère 3 | Critère 4 | Critère 5 |
|--------------------------|-------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| Pentes | 2 | 0-5° | / | 5-35° | / | 35-70° |
| Irrégularités de surface | 2 | aucune irrégularité | peu d'irrégularité | zones irrégulières | morphologie très irréguliers | blocs et aspérités |
| Hauteurs plafond | 1 | > 2,30 et < 15 m | > 1,80 et < 2,30 m | > 1,50 et < 1,80 m | > 1 m et <1,50 m | < 1 m |
| Distance de coût | 0,5 | < 25 m | 40-25 m | 55-40 m | 55-80 m | 80-111 m |

Tableau 16 – Modélisation de la contrainte spatiale.

4.6.5. - Synthèse de modélisation spatiale des degrés de contraintes spatiales

Chaque analyse réalisée grâce aux MNT a donné lieu à une reclassification (Figure 97). La somme pondérée pour chaque catégorie a été ajoutée et a débouché sur une nouvelle répartition spatiale. Cette répartition a pu également être reclassée de manière proportionnée de 1 à 5. La cartographie présentée est une synthèse des différents critères pris en compte (Carte 23). La salle des Bauges est large et ne présente que quelques obstacles au sud mais ces contraintes ne viennent pas perturber son accès. Malheureusement, la morphologie de l'ancienne entrée n'est pas perceptible. Actuellement le niveau de sol est plus bas que le niveau actuel, un sondage réalisé au niveau du porche a permis de trouver des niveaux cendreaux datés de l'Aurignacien (Maskud et Gély, 2005). L'accès semblait donc être plus aisé qu'aujourd'hui. L'ensemble de la salle des Bauges est un espace plat, facile d'accès et dégagé, seul l'amoncellement de blocs au centre de la salle vient perturber la visibilité, mais cet obstacle peut être aisément contourné. C'est une zone qui peut être qualifiée, d'un point de vue morphologique, d'espace ouvert par son absence de contraintes.

La galerie du Cactus et la galerie des Panneaux rouges ont les mêmes caractéristiques. Malgré la présence de blocs ou de hauteurs de plafond plus basses, elles restent relativement dégagées. La salle Brunel présente le plus de difficultés le

massif de blocs restreint la circulation dans toute sa partie sud. Nous sommes dans une salle chargée, obturée et à la circulation ralentie. De manière similaire, la galerie de la Bretelle, le Seuil, la galerie Rouzard et une partie de la salle Morel possèdent de grandes variations et des obstacles venant plus ou moins impacter le déplacement. Nous constatons des espaces vides, à la circulation aisée, et des zones contraignantes par l'accumulation rocheuse, ces zones sont révélatrices de changements topographiques qui viennent affecter autant la visibilité que la circulation dans l'espace. On est dans le cadre d'espaces fermés par opposition à ces espaces ouverts.

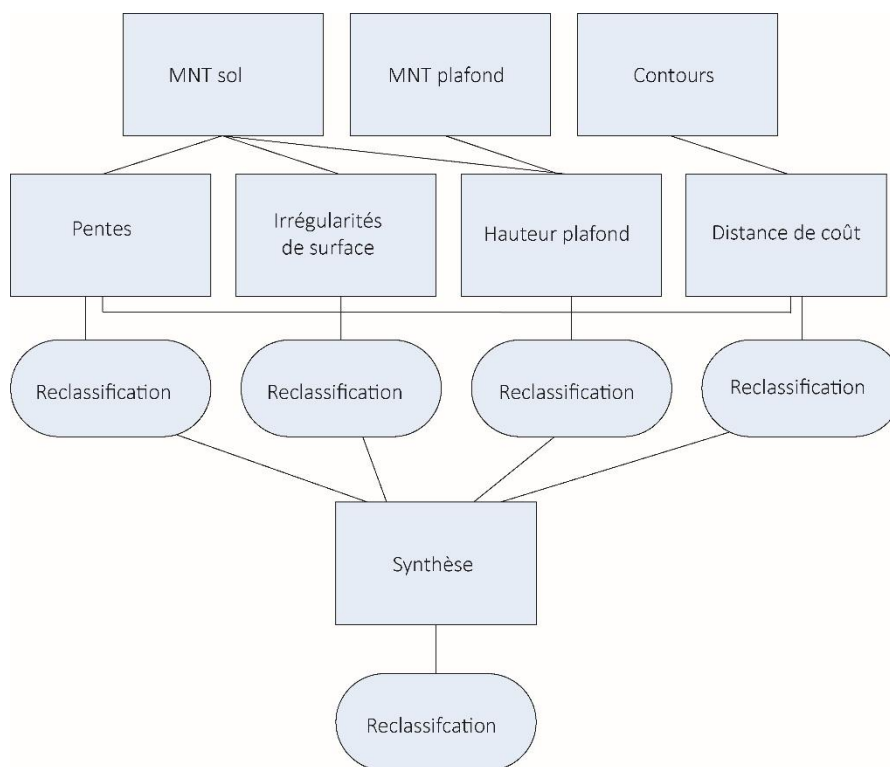


Figure 97 – Modélisation de l'analyse multicritère.

À la lecture des résultats, nous remarquons que 60 % de l'espace étudié présente peu de contraintes de déplacement (zone 1) (Tableau 17). La grotte Chauvet est une grotte facile d'accès, cela se perçoit dans la cartographie. Cette zone 1 se déploie dans l'ensemble des salles et forme un vaste espace de l'entrée jusqu'au Seuil. La zone 2 se trouve dans les pourtours de la zone 1, elle se matérialise par des parois plus basses ainsi que des zones situées en périphérie. Elle ne possède pas de contraintes majeures et reste une zone très accessible traduisant un changement topographique, mais sans impact direct sur le déplacement. Elle représente 18 % de l'espace. La zone 3 désigne des éléments et des changements pouvant avoir un impact sur la zone, cette zone recouvre 11 % de l'espace. Les zones 4 et 5 démontrent des niveaux

d'accessibilité et des contraintes beaucoup plus élevées. Elles regroupent des zones à fortes irrégularités jusqu'à des obstacles infranchissables.

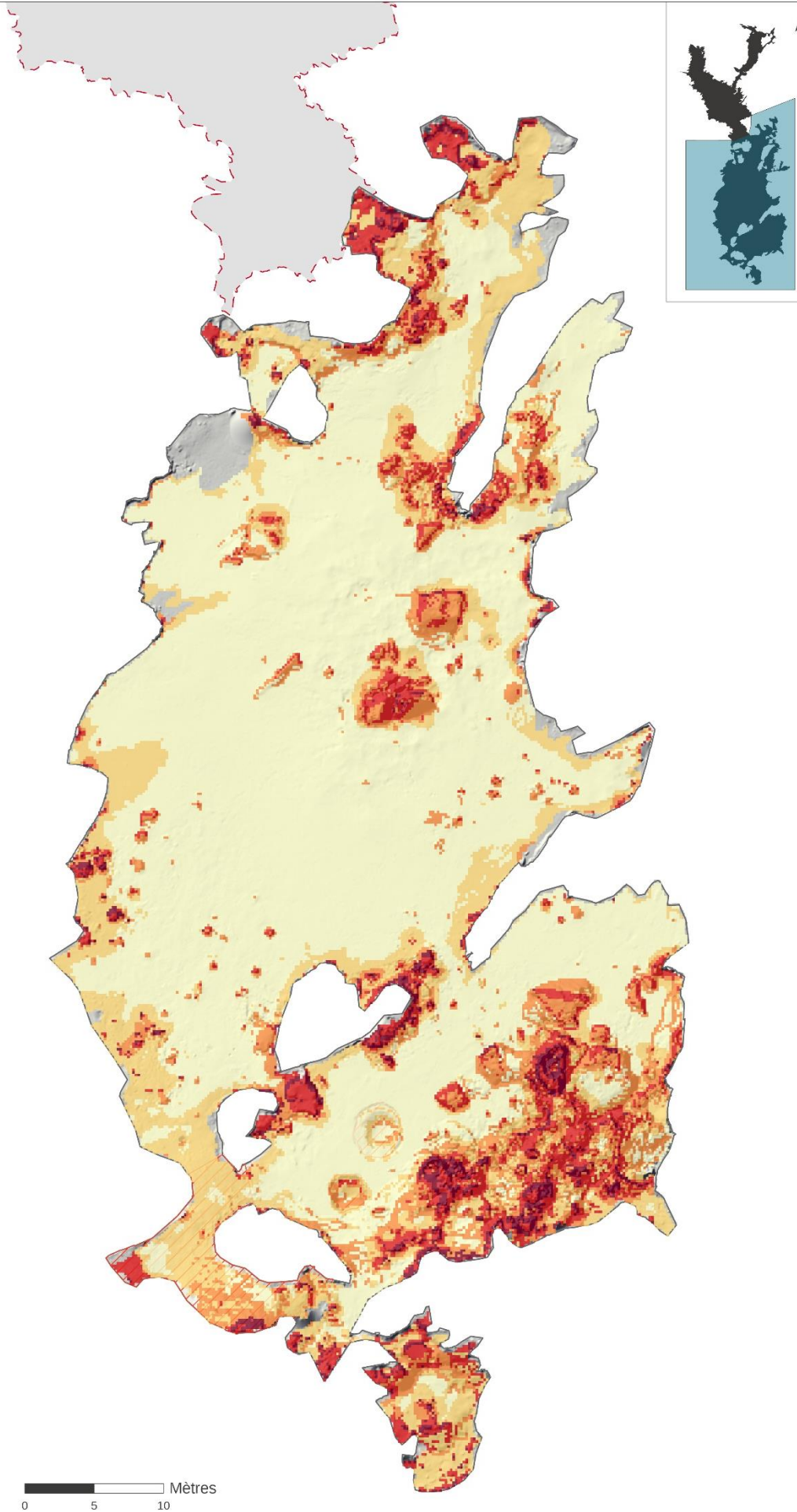
| | Analyse cumulée des critères | Description de la contrainte | Surface occupée (m ²) | Surface occupée (%) |
|---|------------------------------|---|-----------------------------------|---------------------|
| 1 | (0-5) | Aucun obstacle ne vient contraindre la progression | 2710 | 60% |
| 2 | (5-10) | Contraintes peu présentes et sans incidence | 806 | 18% |
| 3 | (10-15) | Zone située en périphérie d'une zone d'obstacle | 511 | 11% |
| 4 | (15-20) | Zone située à proximité directe d'un obstacle majeur | 374 | 8% |
| 5 | < 20 | Zone infranchissable ou présentant un obstacle majeur | 123 | 3% |

Tableau 17 – Synthèse des types de contraintes spatiales

L'intérêt de cette analyse est de croiser les différentes données topographiques, sur un même plan. Elle vise donc à quantifier le relief pour retranscrire l'impression d'ensemble. Elle reflète les changements topographiques majeurs et les différences significatives dans la perception des espaces.

Cette méthode, appliquée à Chauvet, est reproductible à d'autres grottes. Elle se présente également comme une alternative mettant en comparaison des secteurs. Cette cartographie reste cependant une construction et une représentation subjective de l'espace : les critères d'entrée ont été délibérément choisis et pondérés.

Aujourd'hui seuls 4 critères ont été mobilisés. Cette étude est évolutive : de nouveaux paramètres ou des modulations dans les pondérations pourront être intégrés, et évolués au fil des discussions avec les spécialistes. Cette cartographie présente néanmoins des limites. Nous remarquons, tout d'abord, une imprécision de données dans certaines zones scannées, et notre méconnaissance de certains secteurs qui ne permettent pas de vérifier les résultats de l'analyse sur le terrain. Ensuite, des critères n'ont pas pu être pris en compte comme l'espace disponible entre deux parois. Ce type de critère joue un rôle sur la perception d'espace étriqué. Cette analyse pourrait permettre de mettre en évidence les alcôves, qui sont certes accessibles d'un point de vue pratique, mais restent des espaces fermés et clos.



Carte 23 – Résultat de l'analyse multicritère, L.Louman.

4.7. - Résultats : l'objet dans le lieu, les marques de colorant et entités au regard de la contrainte spatiale

La cartographie de la contrainte spatiale offre un nouveau moyen de questionnement sur la répartition des marques rouges et des principaux ensembles ornés. C'est avec cette représentation que la structure spatiale peut être abordée. Les résultats de la répartition des traces et de la cartographie réalisée à partir de l'analyse multicritère vont être croisés pour identifier dans quels niveaux de contraintes se retrouvent les traces.

4.7.1. - Relation spatiale des marques de colorant dans la topographie

Pour observer les zones où se retrouvent les marques rouges, elles vont être confrontées à la cartographie précédemment générée. Pour cela, nous avons repris le corpus des traces initialement identifiées.

L'objectif de cette étude est d'observer dans quels niveaux de zones se retrouvent les traces afin de mettre en évidence des logiques de distribution. Pour comptabiliser leur présence dans ces différents secteurs, la valeur des cellules du raster synthèse de l'analyse multicritère a été extraite, pour la position de chaque entité graphique. Quand l'entité se trouve au-delà de la zone d'étude, nous récupérons la valeur de la cellule la plus proche.

Cette analyse réalisée à une macro-échelle quantifie le nombre de traces pour chaque niveau de zone et nous les restitue en pourcentage (Tableau 18).

| Zones | Nombres de traces | Pourcentages |
|-------|-------------------|--------------|
| 1 | 8 | 8% |
| 2 | 27 | 28% |
| 3 | 18 | 19% |
| 4 | 17 | 18% |
| 5 | 26 | 27% |

Tableau 18 – Nombre d'entités par zone.

Sur un total de 96 entités, nous constatons que 27 % des entités se retrouvent dans la zone 5 ; 18 % sont dans la 4 ; 19 % dans la zone 3 ; 28 % se retrouvent dans la zone 2 et enfin seulement 8 % sont dans la zone la plus facile d'accès de la grotte. Ainsi, 45 % des traces de colorant sont présentes sur des obstacles ou dans des zones

aux contraintes spatiales élevées. Par ailleurs, nous remarquons qu'elles sont très rarement présentes dans des zones faciles d'accès. La catégorie 1 paraît ainsi sous représentée en comparaison à d'autres catégories.

Les traces sont dans les zones rouges, orangés et rarement dans les zones jaunes. Les traces se retrouvent ainsi en majorité dans les zones 2 et 5 de la carte.

Ce phénomène est d'autant plus important qu'il convient de rappeler que la taille de chacune des zones n'est pas comparable. Nous notons ainsi que 8 traces rouges se sont retrouvées dans la zone 1 qui représente pourtant la surface de 60 % de la première partie de la cavité. Alors que 27 traces sont retrouvées dans la zone 5 qui ne représente que 3 % de l'espace total. En contextualisant ces chiffres, au regard de la répartition des zones sur la surface de la grotte, nous relevons que 45 % des traces rouges sont présentes dans les 11 % des espaces les plus complexes de la grotte.

Ainsi les traces sont positionnées, en forte proportion, dans des endroits complexes d'accès et des espaces plutôt fermés alors que ces espaces contraignants ne représentent que 7 % de l'espace total de la première partie. Nous pouvons donc établir un lien direct avec la présence de contraintes élevées et la présence de traces.

4.7.2. - Relation spatiale des figures animales dans la topographie de l'espace symbolique

Ces mêmes analyses ont également été expérimentées sur les figures animales dans le but de comprendre et d'observer si la répartition des traces est semblable à la distribution ornementale des principaux panneaux ornés. Nous avons effectué cette analyse sur les figures animales, car elles sont présentes dans les principaux panneaux de la grotte et sont rarement isolées. Les résultats de la synthèse de l'analyse multicritères ont été transférés vers la couche art pariétal figuratif selon le même procédé utilisé pour les traces. Ainsi, la valeur de la cellule sur laquelle l'entité est présente a pu être récupérée.

Similairement aux traces, les résultats des zones du raster ont été dégagés pour chaque figure animalière indépendamment de l'espèce. Ce résultat a pu être quantifié pour chaque zone graphique (Tableau 19). Les valeurs récupérées pour 91 figures tendent à montrer de grandes différences au-delà de l'effectif total

| Zones | Nombres d'entités | Pourcentages |
|-------|-------------------|--------------|
| 1 | 44 | 39% |
| 2 | 55 | 49% |
| 3 | 4 | 4% |
| 4 | 2 | 2% |
| 5 | 7 | 6% |

Tableau 19 – Nombres d'entités.

Nous retrouvons les figures dans des endroits dits ouverts, les figures animales sont majoritaires dans les zones 1 et 2 (88 % des figures). Les zones 3, 4 et 5 sont au contraire sous-représentées : la zone 3 présente 4 figures ; la zone 4 seulement 2 figures et la zone 5, 7 figures. La distribution générale permet alors de montrer que les zones 1 et 2 sont largement investies au détriment des autres zones.

La distribution principale des figures se retrouve dans les zones accessibles, sans contraintes. On constate que 88 % des figures se retrouvent dans 78 % de l'espace. Ces résultats complètent les observations menées par Yannik Le Guillou (Le Guillou, 2005). Ce dernier a montré que pour une large majorité des panneaux, les figures se retrouvaient dans des zones confortables, accessibles relativement bien exposées au regard.

La comparaison de ces deux distributions confirme l'association particulière entre des zones et le type d'élément dans lesquelles ces traces se retrouvent. La distribution des figures animales renforce la spécificité des traces : leur relation aux espaces complexes et fermés. Cette dernière analyse renforce l'idée qu'en plus de la singularité et la différence de ces objets d'étude, il existe un lien entre les espaces complexes, difficiles d'accès et la présence de marques et traces. L'étude au sein des entités graphiques révèle déjà des tendances dans la disposition qui sont certainement révélatrices d'une fonction différente.

4.7.3. - Deux logiques spatiales : reflet d'une différence fonctionnelle ?

La confrontation des traces et des entités figuratives à l'analyse multicritère débouche sur deux types de distributions.

Les traces sont plus fréquemment présentées dans des zones contraignantes et complexes d'accès. Nous pouvons affirmer aujourd'hui que la logique de distribution est différente de celles des entités figuratives. Les traces ne sont pas positionnées dans des zones faciles d'accès, elles ne sont pas données au regard. Nous les retrouvons parfois cachées, peu exposées dans des lieux étroits et complexes. Elles

sont peu visibles de loin ce qui nécessite un éclairage de très forte intensité pour les observer. Avec une source de lumière plus faible, elles sont difficilement apparentes. La distribution de traces au sein de la topographie confirme les analyses précédemment effectuées ainsi que les impressions provenant du terrain. L'étude de leur taille, de leur dimension sur la paroi, de leur hauteur où les supports sur lesquels elles reposent montrent leur diversité de formes, hauteurs, supports, techniques. Cette diversité dans laquelle on les retrouve ne semble pas soumise à une règle organisationnelle stricte. Leur rareté en paroi est relativement révélatrice du fait que les restes de colorant ne peuvent être interprétés comme des accidents exécutés, mais au contraire elles répondent à une dynamique qui n'est pas similaire aux figures de la grotte. Elles sont en lien avec la circulation ou le cheminement. Quand elles présentent une proximité spatiale, il n'est pas possible de les observer simultanément sur un même plan comme on le ferait pour un panneau. Il n'y a ni angle de vue disponible pour les regarder dans leur globalité, et pourtant elles peuvent être localisées à quelques dizaines de centimètres les unes des autres.

Ces résultats peuvent s'accorder avec plusieurs hypothèses : la désignation de changement topographique, l'enduit du corps, ou encore la recherche d'un contact d'une interface tactile avec la paroi (Pigeaud, 2004 ; Medina-Alcaide, 2016 ; 2018 ; Lorblanchet, 2010 ; 2016 ; 2020) mais ils ne permettent pas, en l'état de se positionner sur l'une d'entre elles. Les hypothèses proposées peuvent être compatibles les unes avec les autres. L'ensemble des résultats va être reconsidéré plus amplement au regard des hypothèses.

4.8. - Interprétations fonctionnelles des traces rouges à Chauvet : des hypothèses rediscutées

De nombreux auteurs, en fonction des dispositifs pariétaux étudiés, ont formulé des hypothèses sur la fonction des traces rouges (Leroi-Gouhron, 1965 ; Vialou, 1982 ; 1986 ; 1999 ; Balbín Behrmann, González et Pereda, 2005 ; Pigeaud, 2004 ; 2005 ; Clottes et *al.*, 2005 ; Lorblanchet, 2010 ; 2016 ; 2020 ; Corchón et *al.*, 2011 ; Medina-Alcaide et *al.*, 2016 ; 2018). L'étude de la répartition spatiale précise des traces a apporté de nouvelles données concernant la grotte Chauvet. Il convient à présent de discuter ces résultats aux principales hypothèses fonctionnelles formulées.

4.8.1. - Les traces sur le corps et accident

Cette hypothèse attribue la présence des traces rouges à des contacts du corps ou vêtements enduits de rouge. Elle a été formulée par plusieurs auteurs, suite à la

découverte de traces de colorant, aux formes peu définies, des traces qui se répartissent, parfois sur quelques millimètres, parfois sur de larges zones (Ledoux et *al.*, 2017 ; Medina-Alcaide et *al.*, 2018 ; Monney et *al.*, 2010). Dans cette interprétation, le contexte spatial participe à déterminer leur attribution fonctionnelle. Dans la logique de cette hypothèse, les traces rouges se situent dans des endroits complexes d'accès et des zones où le contact avec la paroi paraît être inévitable. Ce sont des points significatifs, comme des zones de préhension pour l'escalade, des zones basses de plafond ou des endroits étroits de passage obligatoire. Ces traces fortuites de passage se caractérisent par des micro traces à des zones fortement enduites. C'est alors la hauteur de ces traces qui doit être étudiée et qui peut nous livrer un témoignage sur ces traces accidentelles. Dans cette hypothèse nous supposons que les humains enduits de colorant aient laissé des traces involontaires durant leur cheminement, sans but ni valeur symbolique.

Interpréter l'ensemble des traces rouges de Chauvet comme des traces fortuites dues au passage du corps semble engageante car les résultats affichent un lien entre les localisations de ces traces et les endroits complexes d'accès. En effet, elles se retrouvent sur de multiples supports comme les massifs rocheux (massif de la Gloriette), ou encore sur des blocs et sur des zones où le passage est réduit et obligatoire. Comme le plafond du Seuil ou au niveau du massif de la Gloriette (Figure 98).

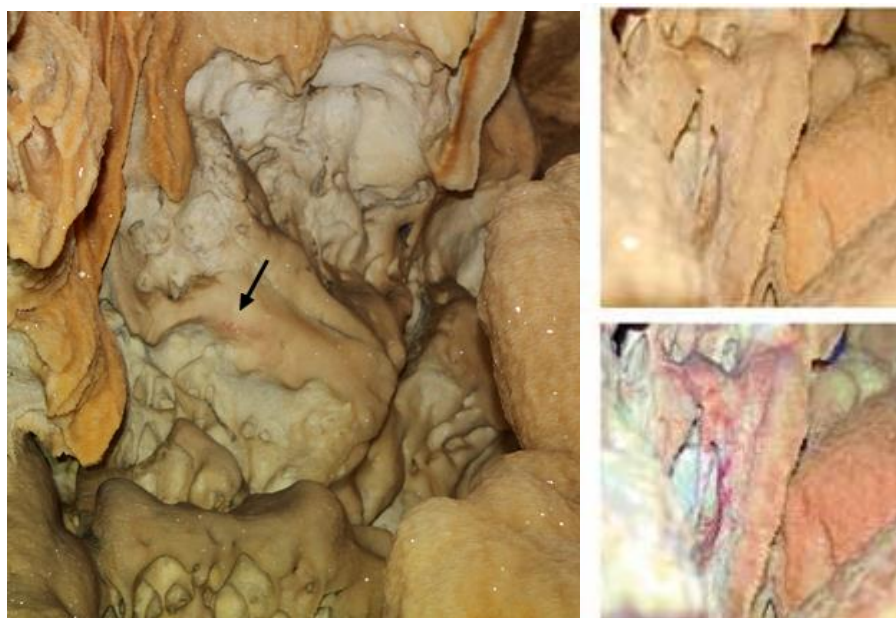


Figure 98 – Traces rouges dans le sens d'escalade, L.Louman ; V. Feruglio, 2016.

Dans la redescente du massif, une trace avait pu être qualifiée d'escalade, car elle est située lors de l'ascension ou la descente du massif de la Gloriette (Baffier et Feruglio, 2012). Cependant, si l'on examine plus attentivement la forme ainsi que la

position de cette trace, on parvient à voir qu'elle n'est pas le résultat d'un appui, mais bien le résultat d'un contact de la pulpe des doigts apposée sur une arrête rocheuse. Dans cette configuration, cette zone ne peut servir ni d'appui ni de préhension, elle ne facilite ni l'ascension ni la descente. Toujours dans la salle Brunel, une trace est considérée comme fortuite, elle se situe sur la proéminence rocheuse à proximité du panneau des Dominos (Figure 99). Elle est également apparentée à une trace d'escalade en raison du fait que le bloc est obligatoirement servi de support pour orner le sommet des Dominos. La répartition du colorant est assez intense, relativement homogène en matière, ce qui permet de la distinguer à 5 m de distance. Une partie de sa forme est recouverte par un voile de calcite. Elle est lisible et présente des contours relativement apparents. Le fait qu'elle soit isolée sur cette proéminence rocheuse est un autre élément nous faisant plutôt envisager la présence d'une tache faisant partie du dispositif graphique qu'à une conséquence annexe de l'escalade sur le bloc rocheux (la trace mesure 5/6 cm).

La localisation précise du colorant sur des éléments de relief, les formes qui montrent des appuis de doigts ou de main et le fait qu'elles soient isolées nous invitent à penser que la présence du colorant est bien volontaire. Seules, trois traces sont identifiées comme des traces indirectes. Ce sont des dépôts argileux bien marqués, qui seraient plus attribués à l'ours au vu de la couleur, de la hauteur et de la diffusion (Figure 100).



Figure 99 – Proéminence rocheuse face aux Dominos, L.Louman.

Par ailleurs, si nous ouvrons la discussion sur l'attribution de ces marques rouges à des zones de contact pour le passage du corps, nous pouvons inverser la démarche et chercher les zones où l'escalade a été nécessaire et les zones de contact inévitables pour retrouver des traces de colorant.

Dans la galerie du Cactus, ou un ours rouge a été réalisé à plusieurs mètres de hauteur. Son exécution demande nécessairement de l'escalade et des appuis multiples contre la paroi, or aucune trace n'a été découverte pas plus que sur le pourtour des entrées étroites et de la galerie de la Bretelles ou du Diverticule des ours. Ainsi à Chauvet, il nous paraît difficile de qualifier les traces rouges comme des traces fortuites, car si elles se retrouvent sur des zones difficiles d'accès, leur positionnement autour de morphologies rocheuses est frappante et semble au contraire répondre à une volonté particulière.

La présence de ces marques dans le cadre de la grotte Chauvet permet de confirmer que les préhistoriques ont circulé dans l'ensemble de la cavité et que leur connaissance de la grotte était très précise. Et laisser ou non une trace, dans certaines zones, apparaît plus comme un acte volontaire qu'un accident de passage.



Figure 100 – Traces argileuses diffuses situées 1,10/1,20m du sol, L.Louman.

4.8.2. - Le repérage/cheminement

Le terme de marquage est récurrent dans les publications (Leroi-Gourhan, 1958 ; Vialou, 1999 ; Pigeaud, 2004 ; 2005 ; Balbín Behrmann et *al.*, 2005 ; Clottes, 2005 ; Cantalejo, 2006 ; Corchón et *al.*, 2011). Les traces jouent un rôle de marqueurs topographiques. Elles renverraient, selon ces auteurs, à une signalétique indiquant un prérepérage (Cantalejo, 2006), des changements topographiques (Vialou, 1999 ; Pigeaud, 2004 ; 2005), ou bien à la continuité ou à la fin d'un dispositif pariétal (Leroi-Gourhan, 1958).

Ces interprétations sur le repérage impliquent, dans ce cas, une disposition géographique particulière. En effet, si on considère que les traces renvoient à une signalétique, elles doivent alors remplir plusieurs critères. Tout d'abord, elles doivent être clairement identifiables dans la grotte et être positionnées en amont des obstacles. Ensuite, nous devrions les retrouver sur des zones de carrefours, sur des bifurcations, pour indiquer un éventuel cheminement pour la prospection d'une composition ornementale (Vialou, 1999 ; Cantalejo, 2006).

Or, dans la première partie de la grotte Chauvet, nous constatons que les traces ne répondent pas à ce type de dynamique. Les traces telles que nous avons pu les enregistrer sont peu visibles, même avec un éclairage important, y compris quand elles sont en bon état de conservation. Ensuite, notre étude globale montre des marques non pas en amont des panneaux, mais placées au sein de ces changements topographiques. Leur caractère informatif, un balisage vers les panneaux paraît ainsi limité si elles s'adressent à des visiteurs. De manière comparable aux mouchages de torche de la seconde partie de la grotte, les traces du Seuil, qui se poursuivent dans la galerie du Cierge, se retrouvent dans une zone où la morphologie de la grotte ne laisse pas de place pour se perdre. Le caractère signalétique de ces marques ne peut être mis en évidence. Elles s'opposent d'ailleurs frontalement à la monumentalité et à la taille des figures sur les principaux panneaux de la grotte. Le rôle du marquage dans l'idée d'une signalétique paraît donc difficilement soutenable dans la mesure où les marques ne sont ni orientées, ni visibles, ni structurées, ni positionnées dans des zones clefs (en amont d'une salle, sur un panneau). Elles sont récurrentes dans les zones où la circulation est complexe, mais naturelle.

Concernant le repérage, nous pouvons nous référer à des exemples ethnographiques qui montrent que, quel que soit le milieu, même extrême, les hommes ont appris à mettre en place des techniques sans avoir à transformer le paysage (qualité de la neige, forme de dépôt des banquises, ligne d'horizon) (Collignon, 1996 ; Jonsson, 2010 ; Orillard, 2014). Les techniques de repérage sont aujourd'hui décrites par des sources récentes qui précisent qu'elles se modifient en fonction du milieu (Towbridge, 1913 ; Casajus, 2011 ; Clerc, 2019). Les modifications anthropiques des zones sont réalisées non pas pour se repérer, mais pour indiquer des lieux de passage comme par exemple les cairns (Hamelin, 2005).

Ce sont aussi des travaux récents sur des chauffeurs de taxi londoniens qui ont montré aussi qu'une sollicitation, quotidienne, de leur capacité de repérage dans l'espace agit sur l'hypothalamus. Cette stimulation récurrente améliorerait grandement cette capacité de reconnaissance et de projection du lieu qui devient un exercice aisé pour ces chauffeurs de taxi (Woollett et Maguire, 2011). Et si nous rapportons à une population de chasseurs collecteurs nomades, mobilisant

quotidiennement cette mémoire pour les déplacements, elle est sans nul doute sollicitée. La question de la visibilité et de l'enregistrement de repères mentaux est un exercice quotidien et mécanique. La grotte n'est pas un espace monotone. Il fournit, par son irrégularité, une pluralité de repères visuels pouvant être mobilisés : les formes des espaces, les textures, les types de sols, les empreintes présentes, les couleurs. Ces hommes, qui fréquentaient ces espaces, avaient-ils besoin de marquer les lieux pour se repérer surtout dans des zones faciles d'accès et/ou le passage est naturel et obligatoire ? L'indication des changements topographiques pour ne pas se perdre dans l'espace nous paraît peu concevable.

La question du balisage doit être envisagée à Chauvet autrement que comme un simple aspect pratique par analogie à nos chemins de randonnée. Associée à l'interprétation du marquage, nous retrouvons également l'hypothèse du prérepérage, qui consiste à marquer des zones pour une planification ornementale (Catalejo, 2005). Cette hypothèse est intéressante, car la position des panneaux est particulièrement scénographique à Chauvet et montre que le projet graphique a été conçu dans un ensemble (Fritz et Tosello, 2015 ; Feruglio et Baffier, 2017). Dans la salle Brunel, la disposition rayonnante des éléments montre une capacité de résonance entre les ensembles graphiques (Le Guillou, 2005). Comme pour le marquage, dans le prérepérage la totalité des endroits de la grotte a été explorée, montrant une connaissance accrue et précise de l'espace. La grotte semble avoir été parcourue, mais également investiguée. Cependant peu de traces semblent être rattachées aux panneaux. Elles sont isolées de ces contextes pariétaux. Ainsi la question du prérepérage graphique ne fait pas sens, car les panneaux ont été posés dans des zones naturelles d'accès et les parois ont été largement préférées au massif rocheux. Et l'on voit à Chauvet, que ce sont des zones très stables, faciles d'accès, ouvrant sur de larges cadres graphiques, qui ont été choisies.

Si on est en mesure de démontrer l'existence d'une relation graphique entre les morphologies et l'application de colorant rouge, nous ne pouvons pas considérer les traces comme des éléments signalétiques pour informer de la topographie, car elles sont présentes directement au sein de ces changements topographiques et non avant. Elles sont apposées dans des zones topographiques ou l'absence graphique est à noter et elles créent ces liens graphiques entre les panneaux du dispositif pariétal.

Le terme de "marquage", nous le définissons comme une volonté de marquer la paroi dans le but de laisser une empreinte visible. Il existe ainsi une tendance et une sélection dans les endroits où de multiples traces se retrouvent (massif de la gloriette, Hibou, le Seuil) (Annexe 11). Ainsi, à plusieurs reprises, nous remarquons que ce sont des formes minérales particulières ou des endroits qui sont désignés. Il

semble exister un dialogue entre une zone et la présence de traces. Dans le cadre du Seuil par exemple, la présence de ces traces renforce le statut d'effet frontière entre les deux parties de la grotte. On retrouve une forme de désignation entre une proéminence rocheuse comme le massif de la Gloriette ou le pilier situé à proximité du Panneau de l'entrée (Hibou). Il semble au travers de la lecture des traces que ces zones ont un statut particulier et ont été volontairement intégrées au dispositif pariétal.

4.8.3. - Des gestes spontanés

Les traces rouges sont parfois interprétées comme des gestes spontanés. Michel Lorblanchet les décrit dans plusieurs grottes, pour lui ces traces s'apparentent à des empreintes, à des contacts de doigts, qui résulteraient de gestes spontanés, de contacts rituels sans réel besoin de faire figurer une forme particulière « *des traces souvent diffuses laissées par des gestes automatiques dépourvus d'intention graphique. Elles résultent des attouchements répétés de la paroi qui devaient être considérés comme sacrés, investis d'un pouvoir particulier. Il n'est pas certain que ces contacts physiques avec la caverne avaient réellement l'intention de laisser des traces d'un passage. Il semble plutôt que lors de rituels qui s'accomplissaient dans la cavité, les participants touchaient simplement les concrétions avec les doigts enduits de pigment* » (Lorblanchet, 2010, p.281). Dans la grotte de Cougnac, Michel Lorblanchet présente ces gestes spontanés à proximité les uns des autres comme des marques de personnes différentes, étalées dans le temps. Elles seraient le reflet d'une pratique collective, où le symbolisme féminin aurait une place particulière. Les analyses des pigments relevées à Cougnac, montrent qu'une zone de dépôt de colorant rouge était présente. Ce même colorant a été utilisé successivement pour la réalisation de peinture et pour les marques rituelles. Les analyses de pigments ont révélé un lien entre les marques rituelles et les manifestations graphiques. Elles livrent une fréquentation collective qui montre le rôle dynamique du lieu. L'hypothèse d'une activité rituelle, de par la largeur et la diversité des traces, est concevable. Cependant, les traces découvertes à Cougnac ont une autre configuration, elles sont disposées sur les parois sur le pourtour d'une même salle ce qui diffère de la répartition de la première partie de la grotte Chauvet. L'intention semble aussi éloignée, à Cougnac, les traces ne sont pas réalisées dans l'optique d'être vues et bien distinguées ; les gestes sont légers sans intention de figuration. Par ailleurs, les traces rouges dans la grotte Chauvet sont spécifiques : elles peuvent être lues et suivies dans une continuité, dans certaines zones, un dispositif nous invite à une lecture dans les cheminements. Ce n'est pas le cas à Cougnac. Dans la

première partie de la grotte Chauvet, les traces, quand elles sont lues dans une continuité, sont semblables dans la forme et dans leur logique de disposition. Elles renvoient à une idée de parcours et non d'aire de fréquentation collective comme à Cougnac. L'étude de la seconde partie pourra peut-être apporter de nouveaux éléments d'analyse qui modifieront la lecture actuellement proposée pour les premières salles.

4.8.4. - Les marques de colorant dans le contexte d'autres dispositifs ornés

Faute de méthodologie commune, il semble aujourd'hui complexe de comparer les traces rouges présentes dans plusieurs grottes. De plus, plusieurs niveaux de comparaison sont possibles soit par l'analyse formelle soit par la distribution spatiale.

La mise en contexte des résultats au travers d'exemples archéologiques est un temps majeur pour tout travail archéologique. Aujourd'hui replacer les traces rouges dans un temps chronologique et culturel global semble prématuré, car l'étude des traces rouges de Chauvet est loin d'être achevée. La seconde partie de la grotte apportera de nouveaux éléments qui feront certainement évoluer les interprétations et les résultats présentés. Cependant, l'examen de la première partie de la grotte a livré quelques éléments intéressants à souligner. Ces éléments présents serviront d'appui pour la poursuite des études.

Les marques se retrouvent dans l'ensemble des grottes du Paléolithique supérieur. Certaines d'entre elles à l'image des ponctuations et tracés digités présentent une omniprésence de l'Aurignacien au Magdalénien. Elles sont fréquemment disposées sur des zones particulières du relief (Robert, 2007). Ce type de ponctuation et empreintes répertorié en signes « simples », ou « neutres », ou « peu élaborés » ne présente ni une appartenance chronologique ni une appartenance géographique marquée (Leroi-Gourhan, 1958c ; Sauvet et *al.*, 1977 ; Robert, 2006) (Figure 101). Il se différencie en cela des signes complexes et d'une forme de régionalisme apparent. Les marques de Chauvet montrent une pratique du marquage ancrée dès les premières périodes du Paléolithique. Il est intéressant de noter que, à l'image des figures animales, cette pratique présente une forme de permanence dans les ensembles ornés. Parmi les manifestations communes à Chauvet et à d'autres grottes, certains traits sont communs comme l'association des stalactites à des ponctuations ou à des contacts de doigts. Toutefois on ne sait pas identifier s'il s'agit d'un mode opératoire ou bien d'une coïncidence. Cette relation des stalactites avec des ponctuations/contact de doigts apparaît 5 fois à Chauvet, cette récurrence se remarque aussi dans d'autres grottes ornées (Tito Bustillo, La Lloseta ou Cudon)

(Corchón et *al.*, 2012). Il peut s'agir d'une relation isolée ou d'une manifestation répétée. Les grottes d'Ardales ou de La Garma présentent ce type d'association récurrente (Arias et *al.*, 2011 ; Cantalejo, 2006).

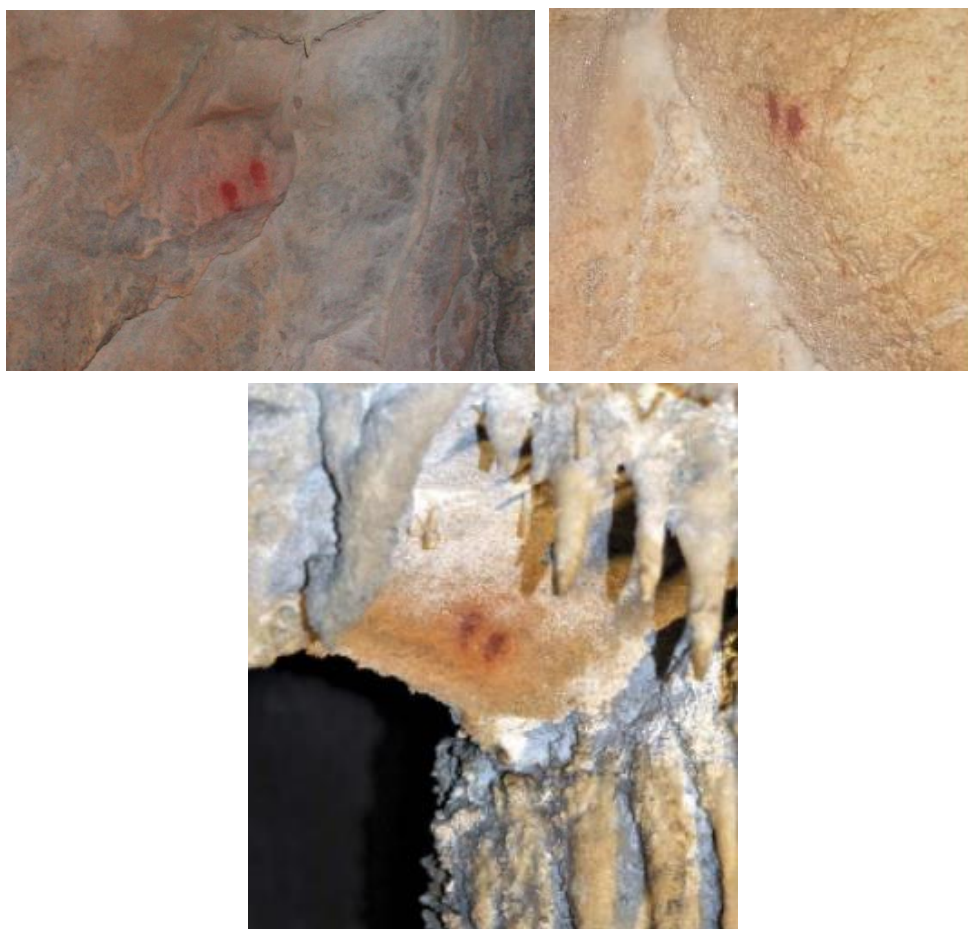


Figure 101 – Ponctuations doubles sur relief la Garma (Robert, 2009), Chauvet, L.Louman, La Lloseta (Balbin-Behrmann, 2005).

À Chauvet ces stalactites sont situées en majorité dans la salle Brunel (Figure 102). Elles ont une place polarisatrice entre les panneaux. Elles sont pour certaines placées à un niveau élevé par rapport au sol et l'exécution des ponctuations ou des traces de doigts nécessite de l'escalade. Ce qui laisse penser que leur position sur la stalactite a été réfléchi.

Nous constatons également un lien entre des maculations rouges et les massifs rocheux ou rideaux stalagmitiques. Ce type de manifestations se retrouve aussi dans plusieurs grottes comme la Lloseta, Ardales, Cougnac, Les Fieux, Nerja, Oxocelhaya (Sanchidrián-Torti, 1990 ; De Balbin-Behrmann et *al.*, 2005 ; Lorblanchet, 2010 ; Labarge, 2012 ; Marti et *al.*, 2021) (Figure 103). Ces massifs présentent quelques fois des stalactites cassées, on parle alors de lithophones en référence au son qui était peut-être recherché derrière ces cassures ou traces d'utilisation. Le lien entre la

présence de ces traces et l'utilisation de ces massifs en lithophone suscite des questionnements.

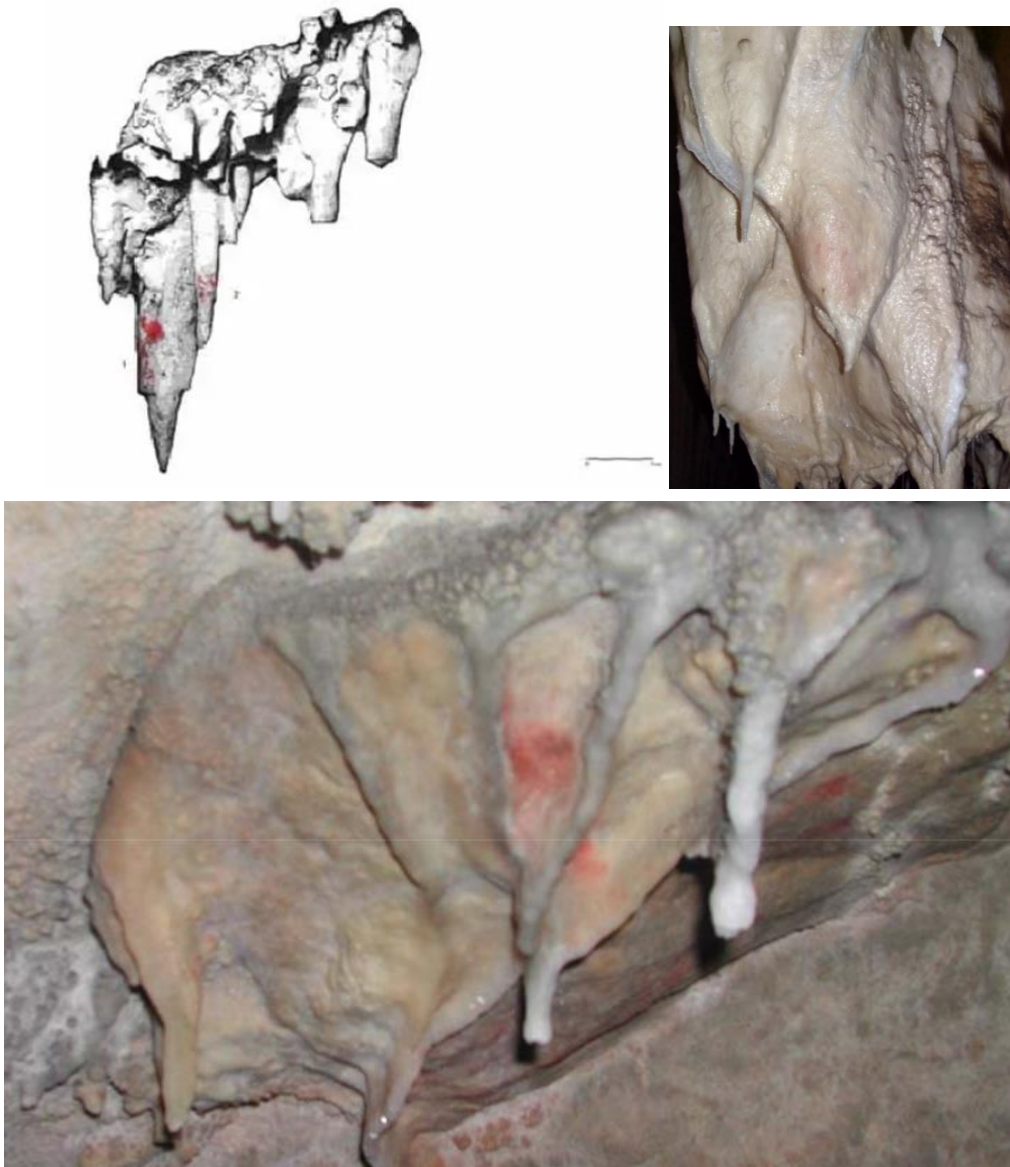


Figure 102 – Ponctuations Ardales, (Cantalejo, 2006), Chauvet, L. Louman, La Garma (Robert, 2006).

A Chauvet, au vu de la situation et de la configuration des traces de colorant sur le massif de la Gloriette et de sa position en début de grotte, les traces rouges renforcent l'idée d'une activité symbolique particulière et du statut central joué par le centre de la salle Brunel. L'escalade, le passage et le déplacement dans les moindres recoins de cette zone ont été effectués. À Chauvet comme pour d'autres grottes ornées, nous observons un attrait pour certaines formes et zones géologiques qui ont pu fonctionner comme des points clefs de l'espace. La présence de traces rouges sur des éléments rocheux souligne cet intérêt. Le relief semble jouer un rôle actif, un repère mental pour le visiteur sans être obligatoirement un élément signalétique.

Ainsi, les traces de colorant rouges retrouvées à Chauvet présentent des caractéristiques communes avec d'autres grottes ornées. Ces parentés formelles des mécaniques et des pratiques sont comparables y compris sur des dispositifs plus récents. Cependant, ces similarités, même si elles sont récurrentes dans les études ne sont pas suffisamment solides pour établir une parenté formelle. Ce panorama démontre que l'étude des formes de traces n'apporte aucun élément d'information et confirme l'apport et l'intérêt de l'étude spatiale. L'étude des traces doit se rapporter aux niveaux de fréquence, des emplacements, des hauteurs et de la distribution des supports et surtout des types de gestes. Seuls, ces éléments retiennent notre attention pour établir des comparaisons entre les ensembles.



Figure 103 – Traces rouges retrouvées sur rideaux stalactimigtiques de la grotte de La Losetta (De Balbin-Behrmann et *al.*, 2005), la grotte d'Ardales (Ramos-Muñoz et *al.*, 2022)

4.8.5. - Un comportement tactile spécifique ?

Des pistes nous semblent intéressantes pour envisager et pour réaliser des études comparatives entre les fréquences et les distributions graphiques en lien avec l'espace symbolique. Certaines grottes présentent déjà des caractéristiques communes au niveau de la fréquence, du nombre et de la répartition.

En effet, les traces rouges se comptabilisent par centaines et se manifestent par une diversité de techniques, d'intensité de réalisation, mais également de supports. Les grottes du Lot comme Cougnac, Pech-Merle, les Fieux et Roucadour (à un niveau moins important) affichent ces aspects. À Cougnac, la plus emblématique des grottes, Michel Lorblanchet décrit des traces de contacts (maculations, touchés) et souligne leur grande variabilité de forme et de supports (paroi, stalactite) (Lorblanchet, 2010). Ces traces seraient associées aux réalisations, elles seraient produites avec les mêmes pigments utilisés pour les peintures. D'autres ensembles ornés notamment en Andalousie semblent présenter des caractéristiques semblables. Dans la grotte d'Ardales des centaines de traces, sont réalisées avec les doigts, à la main, elles se manifestent par des frottements, essuyages de doigts. Il est possible de les identifier sur des spéléothèmes, des blocs ou des parois (Cantalejo, 2006). Elles occupent l'ensemble de l'espace orné et se retrouvent dans les moindres recoins. Ces traces avaient d'abord été attribuées à une phase aurignacienne à cause de l'aspect brut et non figuratif de ces manifestations. La grotte de Nerja en Andalousie a fait l'objet d'une étude des traces rouges. Cette étude a montré que les traces représentaient plus de 44,7 % du graphisme de la grotte soit plus de 250 traces retrouvées, dans des zones de passages complexes (Sanchidrián-Torti, 1990 ; Medina-Alcaide et al., 2016). Cette étude révèle aussi une diversité de traces associées aux passages du corps et des traces produites par un contact de mains. Plus récemment des taches amorphes ont également été signalées dans la grotte de « *Los Márquez* » (Medina-Alcaide et al., 2020).

Pour Romain Pigeaud, « l'appropriation du relief » se fait « par des systèmes d'empreintes, en étroite association avec les représentations, est un comportement très singulier » (Pigeaud, 2005 ; 2007). Sur ce type de manifestations, il établit un lien de parenté avec les grottes du Lot et la Mayenne : « En effet, ces trois cavités présentent la même approche " tactile " des parois, avec une même appropriation du relief par des systèmes d'empreintes, en étroite association avec les représentations (Pigeaud, 2005a). Ce qui va bien au-delà de la simple main négative ou positive. Ce que Michel Lorblanchet (1989) appelle des mains " frottées " ou " essuyées ", des badigeonnages de parois, ou des empreintes de mains incomplètes, réduites souvent à l'apposition de la pulpe des doigts ou bien de la paume. Certes, si des traces sur les parois relèvent bien de comportements " primaires et transculturels ", leur

accumulation systématique, jointe à des similitudes de style et à une contemporanéité permet de poser sérieusement la question des liens entre la région du Lot et les zones karstiques du Massif armoricain » (Pigeaud, 2007, p.23). D'autres grottes présentent ce type de traces en nombre, mais elles restent peu comptabilisées dans les publications. L'ampleur de cette pratique reste difficile à évaluer. Certaines grottes comme La Garma, Tito Bustillo, La Pasiega, Oxocelhaya comptent de nombreuses traces (Balbin-behrmann, 1989 ; Balbin Behrmann et Gonzalez-Sainz, 1995 ; Gonzalez-Sainz , 2003) (Figure 104).



Figure 104 – Grotte d'Oxocelhaya, Salle des lithophones, A.Labarge (Labarge, 2012), maculations similaires à Chauvet.

Actuellement, la répartition des traces rouges reste un phénomène encore mal connu et mal décrit dans la littérature et ce panorama aujourd'hui ne peut pas s'appuyer sur des sources bibliographiques suffisantes.

L'apport de ces quelques éléments de comparaison permet de soulever plusieurs questions. Peut-on réellement parler d'un comportement culturel rattaché à la présence de ces traces ? Existe-t-il un lien entre la forte fréquentation de ces espaces et la quantité des traces présentes ? Sont-elles le reflet d'une pratique collective comme pour Cougnac ou sont-elles le fruit de la même personne ? Quelle relation temporelle entretient-elle avec les figures ? Peut-il y avoir une convergence chronologique de ce comportement qui se situerait dans les premières cultures du Paléolithique supérieur ? Mais surtout sans possibilité de datation comment peut-on établir méthodologiquement des parentés entre ces types de traces découvertes. Seule, la poursuite des études permettra de répondre à ces différentes questions pour ouvrir la voie à de nouvelles perspectives de recherche pour ce domaine encore peu documenté.

4.9. - Conclusion

Dans ce travail, le SIG nous a permis de questionner, avec les traces de colorant et autrement que par l'art, l'espace symbolique d'une grotte ornée. Aujourd'hui nous mesurons les apports de cet outil pour étudier la pratique spatiale souterraine de la grotte Chauvet (et plus globalement pour l'ensemble des grottes préhistoriques).

Tout d'abord, l'utilisation du SIG a permis de matérialiser les observations littérales et les concepts utilisés en Préhistoire. Ensuite il a aussi facilité l'étude des marques de colorant, ces traces diversifiées que nous pouvons aujourd'hui mieux caractériser. Enfin le SIG a apporté des moyens pour matérialiser une distribution particulière des traces en lien avec des zones complexes. Elles sont parfois placées dans des zones sans graphisme et présentent une organisation dans l'espace, différente des panneaux ornés. Alors que les ensembles ornés de la grotte se retrouvent dans des zones accessibles, les traces se retrouvent en marge de ces espaces. Ce qui amène à repenser les dynamiques spatiales au sein de la grotte et suscite des questionnements sur la nature de cette distribution.

L'étude spatiale des traces apporte une nouvelle lecture archéologique de la grotte ornée, une lecture plus vivante, plus spontanée qui s'oppose aux ensembles ornés structurés et codifiés. C'est en s'associant ou en interférant avec les figures en place qu'elles créent une continuité graphique voire des repères pour celui qui veut les voir pour les comprendre. Elles attestent de l'exploration et de la connaissance précise des endroits les plus éloignés de la grotte (Le Guillou, 2005 ; Groenen, 2013). Quand on évoque ces marques et traces de colorant, certains aspects semblent consensuels. L'idée de cheminement, de parcours, de rituels est associée à ces traces et ces hypothèses semblent partagées par les auteurs qui se sont intéressés à la question. Nos observations se joignent à ces constats. Si les panneaux sont des parties narratives d'un discours mythique global, alors on peut se risquer à évoquer une analogie : les traces pourraient symboliser une ponctuation et une dynamique dans les zones statiques.

L'approche spatiale permet ainsi de mettre en lumière le caractère rituel de ces traces. Si le mythe a une valeur immuable, le rite se distingue par une valeur plus variable, plus individuelle, et plus sujette aux changements. Ces traces, à valeur rituelle, changeante seraient alors le reflet de procédé individuel ou existant sur du court/moyen terme. Cela pourrait expliquer cette variabilité au sein de la grotte, et la difficulté à matérialiser des similitudes avec d'autres dispositifs ornés. On peut se demander si ces marques de couleur ne seraient pas intégrées pour interagir avec l'espace. L'importance de la couleur rouge, le transport du colorant dans toute la grotte, toucher ou apposer de la couleur, même spontanément, marquer l'espace,

même si la recherche d'intention paraît inexistante, n'est pas un acte banal et démontre l'intégration d'une zone géographique ou d'une proéminence rocheuse à un espace symbolique. Les marques seraient alors une forme discrète ou la résultante de témoignages nous rappelant alors que l'absence ou la rareté graphique ne signifie pas une omission symbolique du lieu. Leur présence renforce au contraire la valeur spirituelle de la grotte en démontrant que l'espace symbolique dépasse le cadre des panneaux en soulignant l'importance et l'existence de zones clés de la grotte. Comme le mentionnait Robert Bégouën au sujet du badigeonnage des parois de la grotte d'Enlène, cette diversité de traces contribue à « la sanctuarisation de ces secteurs topographiques » (Bégouën et *al.*, 1996, p.304). Et si nous nous référons à la géographie du sacré, nous constatons, dans certaines régions animistes, que la valeur sacrée d'un lieu ne se mesure pas à la transformation du milieu (Karadimas, 2005). Au Bénin, certaines forêts et bois présentent une forte valeur symbolique sans que les hommes les aient modifiées (Cartry, 1993 ; Yameogo, 2015). L'absence ou la rareté de témoins archéologiques dans une zone ne signifie pas qu'elle soit dépourvue de valeur sacrée. Dans les grottes nous retrouvons parfois des changements topographiques forts comme des étroitures et, associées à ces changements la présence de vestiges comme des objets fichés ou déposés (Peyroux, 2012). La présence de ces traces même discrètes peut ainsi signifier un changement sur le plan symbolique.

Livrer une interprétation unique sur la nature de ce lien « marques / espace » nous semble encore prématuré. La fonction des traces ne peut être encore établie et invite au contraire à la prudence et à une reconsidération de l'ensemble des possibilités. Des hypothèses sont discutées et si un cadre de réflexion est posé, retenir une interprétation est impossible, car les marques correspondent à plusieurs types de comportements.

Ce travail revêt des limites. Nous nous sommes concentrés sur la première partie de la grotte, sans un corpus expérimental de comparaison, il est impossible de poursuivre l'interprétation. Les questions concernant les applications techniques sont encore peu connues pour attribuer les résultats des traces provenant de mains ou de parties du corps. Des travaux expérimentaux nous paraissent nécessaires pour reproduire les conditions d'exploration et observer la production des marques de mains ou de corps enduites par inadvertance sur la roche.

Les travaux ouverts sur la seconde partie pourraient amener de nouveaux axes de recherche sur Chauvet. Les traces rouges se poursuivent dans cette seconde partie, se densifient et entrent en contact avec certaines figures animales. L'avancée des études d'arts préhistoriques dans la seconde partie de la grotte révèle également l'existence de nouveaux types de traces ou de jets de pierre sur les figures.

L'intégration d'éléments différents comme les dépôts d'objets et le déplacement d'ossements ou de marques charbonneuses contribueront également à compléter cette recherche sur les pratiques. Seules les analyses de pigments pourraient déterminer si ces traces sont le produit d'une même pâte ou s'il s'agit d'un gisement ou d'une préparation différente. Ces analyses permettraient aussi de mettre en relation ou non, des traces localisées dans deux secteurs différents de la grotte. Elles pourraient surtout permettre de relier ou non ces traces aux ensembles graphiques. Une étude comparative avec le corpus expérimental de la première partie pourrait également appeler de nouvelles recherches sur d'autres ensembles ornés. Ce qui ouvre des perspectives d'études pour s'intéresser à la question de la pratique spatiale dans les grottes ornées.

Les sciences spatiales ouvrent aujourd'hui de nouveaux aspects d'étude, utiles à l'avenir, pour analyser les structures spatiales. L'utilisation des SIG pousse également à envisager l'objet d'étude sous de nouveaux aspects. Là où l'espace symbolique connaît une longue tradition d'étude dans l'art préhistorique. Nous disposons d'outils pour quantifier, observer le déploiement symbolique et surtout de nouveaux moyens de mise en comparaison des espaces sans réduire les particularismes et la richesse de chaque ensemble. Approcher l'espace symbolique par la pratique spatiale ouvre un large champ de recherche qui n'en est qu'à ses balbutiements quant à son potentiel de développement. Cependant, l'efficacité des outils et la capacité à mener une étude spatiale reposent exclusivement sur une connaissance approfondie du terrain. Une bonne prise en compte de l'objet de recherche, avec des va-et-vient sur le terrain et des échanges avec les spécialistes semblent inévitables pour asseoir un travail de modélisation spatiale. Sans le terrain le risque d'une surinterprétation est accru sur ce sujet aussi délicat.

5.- CONCLUSION

L'objectif de cette thèse a été de démontrer en quoi la géomatique peut être une véritable voie de recherche pour l'archéologie des grottes ornées paléolithiques. L'enjeu est aussi d'ouvrir des pistes méthodologiques pour répondre aux problématiques auxquelles sont fréquemment confrontés les préhistoriens. Ce travail a été mené de manière exploratoire et s'est même apparenté à une démarche heuristique. Ce sont les outils de la géomatique et notamment les SIG qui nous ont permis d'explorer, de tester, de modéliser des hypothèses, d'observer et traduire des phénomènes. Ils ont été exploités au-delà des simples fonctions de gestion des données qu'on leur prête habituellement.

Cette étude s'est construite sur 3 focus expérimentaux : la grotte Chauvet, son équipe de recherche ainsi que sur la grotte de Marsoulas.

Ces cas d'étude ont examiné le potentiel de la géomatique selon plusieurs aspects. D'une part comme un moyen pour fédérer les acteurs de la recherche en grottes ornées autour de dispositifs cartographiques collectifs durables. Ensuite comme des systèmes de raisonnement et de visualisation chronospatiale de l'information en grotte et enfin en tant qu'aide interprétative pour examiner une pratique spatiale. Dans chacun des cas, ce sont des méthodes inédites qui ont été développées et qui nous ont amenés à mobiliser des outils variés : photogrammétrie, lasergrammétrie, traitement d'image, SIG, mais également des méthodes qualitatives comme des entretiens et l'observation participante.

Nous allons à présent exposer les principaux apports, les limites rencontrées et les perspectives de ce travail.

5.2. - Construire et spatialiser collectivement la connaissance

En premier lieu, ce travail a démontré l'importance d'introduire des outils adaptés au partage et à la collecte d'information pour construire une connaissance commune et pérenne des ensembles ornés.

Les données spatiales sont aujourd'hui le cœur névralgique de la connaissance collective de la grotte. La mise en place d'un SIG dans l'étude des ensembles ornés apparaît incontournable compte tenu du développement des approches « intégrées » préconisées qui amènent de nombreux acteurs à produire et à échanger de l'information. Par ailleurs, les outils numériques, en permettant une dématérialisation du terrain, entraînent un partage plus abondant d'informations. Aussi consolider et restituer ces données spatiales font aujourd'hui partie d'une stratégie de sauvegarde de l'étude et de la connaissance pour les générations futures.

Dans le cadre de notre recherche, nous avons déployé un webSIG, centré sur le chercheur pour favoriser la collecte de données et le travail interdisciplinaire. L'introduction de la sociologie de la traduction, dans le processus de sa mise en œuvre, nous a permis d'identifier les différents freins à la réussite de ce nouveau système de partage de l'information. Les résultats de notre étude ont démontré que si le webSIG est apparu comme une solution pratique, idéale et adaptée aux besoins de la recherche en grotte, sa réalisation ne doit pas se réduire à une succession de choix techniques. En effet, l'approche réflexive a montré le besoin d'établir un réseau sociotechnique, qui doit s'appuyer sur une démarche raisonnée, intégrant tous les acteurs concernés. Sans l'association des chercheurs au processus de la documentation spatiale de la grotte, toute la chaîne opératoire est mise en péril et le déploiement du dispositif cartographique reste inopérant. Ces résultats montrent la nécessité d'inscrire la mise en place de ces dispositifs web cartographiques dans un schéma de compréhension global afin de garantir l'usage et la production de données spatiales pour les grottes ornées dans les années à venir.

5.3. - Un moyen d'analyse de l'organisation spatiale des grottes

En deuxième lieu, il a été possible d'affirmer que la géomatique est un moyen d'étude privilégié pour l'organisation spatiale des grottes.

Le travail effectué sur la grotte de Marsoulas et Chauvet a permis de démontrer d'une part le potentiel du SIG dans la formalisation des observations de terrain et dans la description du mode d'organisation des données archéologiques dans l'espace.

Nous avons d'abord déployé un système de raisonnement adapté à la répartition des données intégrant la dimension spatiale (3D) et chronologique. À Marsoulas, ce dispositif nous a permis de dégager les processus de mise en place du décor pariétal et de démontrer les choix graphiques effectués en considérant la morphologie du lieu. Le SIG offre ainsi un cadre d'exploration permettant la mise en relation directe des informations tirées des observations et du relevé graphique. Il permet, à partir de ces analyses, de trier les informations, de les organiser, de dégager des constantes et des ruptures et enfin de mettre en valeur des spécificités. Cette méthode offre un nouveau regard analytique sur des phénomènes non perceptibles à l'œil nu.

Ensuite, l'approche géomatique s'est montrée également adaptée à l'étude de la relation humain/lieu. À Chauvet, elle a offert des moyens pour interroger, sur un même plan, les formes topographiques de la grotte et la répartition des types

d'entités graphiques. Ces axes ont permis de développer la question de l'expérience du lieu et de la pratique spatiale de sapiens.

Enfin, nous avons également pu formaliser nos observations par la mise en carte de notions descriptives mobilisées par les préhistoriens. L'espace ouvert, fermé, la contrainte voire le champ manuel, sont des concepts importants à la compréhension de l'art et peuvent être désormais retranscrits grâce aux outils cartographiques afin de mieux caractériser l'espace orné. Avec cette démarche nous avons pu souligner l'existence de zones clefs dans la grotte, dégager des formes cheminements et discuter des hypothèses fonctionnelles.

La géomatique nous apparaît comme un champ de modélisation des observations, constats de terrain favorisant la démonstration des phénomènes, des pressentis ou l'infirmité des relations entre les éléments. C'est un système de raisonnement dématérialisé de la grotte offrant la possibilité d'intégrer des données de natures diverses, sur un même degré de lecture pour faciliter la compréhension de leur relation d'influence.

5.4. - La géomatique : une passerelle méthodologique de l'art pariétal à d'autres disciplines

En troisième lieu, si la géomatique se présente comme une direction de recherche utile pour l'étude des ensembles ornés, c'est également la transition conceptuelle et méthodologique qu'elle amène qui enrichit son potentiel.

Au début de ce travail, la géomatique était définie comme un champ de pratiques et de savoirs. Au cours de l'étude, notre « approche géomatique » a évolué, pour plusieurs raisons. Dès le commencement, nous avons souhaité nous dégager de l'image technique et informatique que l'on prête à ces outils, pour l'orienter à des fins plus sociales, dans et pour les sciences humaines. L'étude de l'art pariétal a confirmé ce positionnement. En effet, la géomatique s'est révélée plus vaste qu'un socle d'outils, de méthodes ; elle est apparue comme une passerelle conceptuelle et méthodologique entre les disciplines, accompagnant le dialogue entre les champs de recherche. Face aux problématiques posées par les grottes, la géomatique, de par sa transversalité, offre une ouverture méthodologique sur les moyens de traitement de l'information des autres disciplines telles que la géographie, l'architecture, l'urbanisme et la géologie. Ainsi, nous nous sommes inspirés, à plusieurs reprises, de ces exemples géomatiques utilisés dans ces disciplines, pour les appliquer aux grottes ornées. C'est le cas du MOS (mode d'occupation du sol) employé en aménagement du territoire, que nous avons exploité pour estimer la surface ornée à

Marsoulas. En utilisant ce mode de calcul, nous avons pu mesurer l'impact graphique d'une paroi ornée. Ce sont aussi les méthodes de l'analyse multicritère, appliquées plus fréquemment en géologie, en logistique, en science de l'environnement et de l'urbanisme, qui ont été utilisées. Cette ouverture méthodologique s'est également étendue à la sociologie de la traduction, de l'innovation et de l'anthropologie des sciences et techniques, avec la mobilisation de l'ANT. La géomatique, par le biais de sa transversalité et de cette connexité aux autres disciplines, apporte des capacités d'innovation et enrichit l'étude du sujet.

L'augmentation du nombre de masters en France témoigne de l'évolution de ce champ disciplinaire. Cependant c'est bien souvent l'apprentissage d'un ensemble d'outils et de méthode qui est enseigné dans ces formations appliquées à une pluralité de disciplines (écologie, urbanisme, risques, hydrologie). Ce fonctionnement rejoint les concepts d'humanités numériques où les méthodes sont des zones de contact et de transit conceptuel. La géomatique est alors ce que l'on pourrait qualifier une « discipline frontière » en référence aux concepts « d'objet frontière³¹ » un champ suffisamment flexible pour accueillir des concepts de plusieurs champs disciplinaires tout en conservant une identité et un fonctionnement qui lui est propre. Si le rapprochement de ces différentes méthodes de fonctionnement disciplinaire s'avère enrichissant, il révèle également des incompatibilités et des divergences. Cependant, ces antagonismes méthodologiques à l'instar d'être négatifs ont, au contraire, un effet positif, car ils renforcent les positions conceptuelles de la discipline. Par ailleurs, la culture géomatique est un champ de connaissance, suffisamment large et ouvert sur de nombreuses disciplines, qui fournit un éventail de solutions pour enrichir et nourrir un problème donné. La géomatique stimule le dialogue entre des disciplines satellites, ces échanges favorisent la communication pour apporter des réponses. Si la géomatique apparaît comme une discipline technique, la manipulation de l'outil, dans des domaines différents, apporte une diversité d'utilisations et un éventail de solutions qui témoignent de son potentiel créatif. La culture et l'enseignement de la géomatique ne doivent pas se résumer à de simples connaissances logicielles, mais dans la capacité d'apprentissage de cette « culture de l'information spatiale » et de la capacité à trouver des réponses dans la pluralité des champs disciplinaires qui la pratique. Ce sont les démarches opérationnelles développées dans les organismes privés et publics qui enrichissent également les méthodes. L'élargissement et l'application à une diversité de thématiques viennent également alimenter ces champs disciplinaires. La géomatique est profondément interdisciplinaire, car elle

³¹ (Star et Griesemer, 1989)

rend les disciplines qui l'utilisent perméable. Ces caractéristiques bénéficient alors à l'archéologie préhistorique des grottes ornées qui ne cesse d'évoluer et de se renouveler aux contacts d'autres sciences (environnement, paysage, anthropologie, architecture, histoire, histoire de l'art, ethnologie et de la sociologie).

L'archéologie de l'art pariétal a progressé grâce à l'utilisation de méthodes innovantes comme les relevés systématiques, les statistiques et analyses multivariées et les méthodes de datations. Et ce sont, par ailleurs, les principaux changements de paradigme qui ont été apportés par des innovations méthodologiques issues des autres disciplines (ethnologie, physique, anthropologie...). La place de la géomatique est donc à poursuivre, car elle peut largement contribuer à cette ouverture interdisciplinaire bénéfique à l'art pariétal.

5.5. - Une chaîne opératoire du raisonnement spatial en grotte

Au sein de ce travail, la géomatique, en répondant à la diversité des problématiques rencontrées sur les sites ornés, a montré une grande adaptabilité aux besoins des projets de recherche. C'est à la fois sur des questionnements liés à l'analyse des vestiges et à l'organisation de la recherche qu'elle témoigne de ses fonctionnalités. Si la géomatique, par le biais des SIG, peut être mobilisée ponctuellement et aisément avec, par exemple des cartes de répartition, la construction d'une véritable réflexion spatialisée, nécessite en revanche le suivi de plusieurs étapes. A cette phase de conclusion du travail, il paraît opportun de revenir sur le processus d'analyse adopté qui s'est naturellement construit à travers les cas d'étude.

Le schéma ci-dessous illustre ainsi l'importance des différentes étapes de construction de ce raisonnement spatial (Figure 105). La première étape souligne l'intérêt d'une construction collective de l'information qui doit être apporté par chacune des spécialités et des spécialistes. Ce travail collectif de récupération de l'information doit être centralisé et accessible, car c'est grâce à cette première étape, à ce socle de données brutes et pérennes que va pouvoir se construire la suite du travail. C'est ensuite, dans une seconde étape, sur la base de ces données collectées et alimentées qu'il est possible de procéder et de restituer des analyses spatiales. Ces premières analyses sont descriptives, permettent de caractériser les distributions. C'est durant cette étape, en s'intéressant aux logiques de croisements et de répartition des données entre elles et en relation avec la topographie, que le mode d'organisation spatial de la grotte peut être décrit. L'espace est alors analysé dans sa globalité, les principales tendances peuvent être dégagées, en s'assurant d'une description rigoureuse des données et de leur fiabilité. C'est à partir de ce

processus que commence la troisième étape, elle se focalise sur le comportement spécifique d'un objet. Il peut être le point de départ à de nouveaux questionnements et son intérêt est de comprendre sa spécificité au regard des autres distributions. On peut alors s'intéresser plus spécifiquement au comportement spatial, à l'interaction et aux problématiques plus géographiques.

Ce cadre de raisonnement démontre l'importance de chacune des étapes. Elles apparaissent nécessaires et interconnectées. Le passage par chacune d'entre elles et un prérequis permettant de s'inscrire dans le cadre d'un raisonnement spatial afin de s'assurer de l'intégrité de la donnée spatiale tout au long de l'analyse. Il est toutefois important d'insister sur une vérification constante de l'information, avec un retour sur le terrain pour s'assurer de la validité des faits représentés.

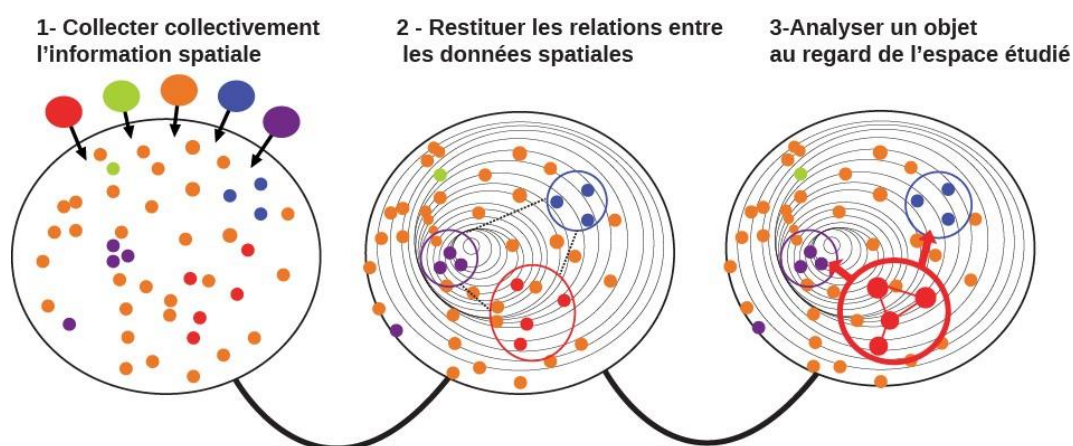


Figure 105 – Étapes d'élaboration du raisonnement spatial.

5.6. - Limites et perspectives

La mise en place de ce travail s'est appuyée sur les systèmes d'information géographique que nous avons associés aux modèles 3D. Si la mutualisation de ces deux outils apporte des résultats, elle présente également des limites techniques. Le volume 3D de la grotte reste complexe à appréhender avec un logiciel SIG et entraîne une perte de précision, une réduction de la qualité et de la quantité des données traitées. La maîtrise de ces effets négatifs implique le déploiement de techniques longues et chronophages. Le 3D et les SIG répondent à des objectifs différents, leur compatibilité reste réduite et freine les possibilités d'investigation.

Les dangers que nous avons observés durant ce travail sont les capacités réductionnistes et déterministes du SIG. Les courants du sensible se développent grâce à l'archéologie du numérique, ils permettent la reconstitution des sites. Si les SIG visent à croiser des données archéologiques, climatologiques, paléoenvironnementales, polliniques dans le but de contextualiser le lieu durant une

occupation, il s'appuie sur des paramètres externes à la compréhension de l'occupation du site. Toute tentative de restitution d'espace vécu ou perçu par les populations est difficile à saisir, car les subtilités de l'aspect symbolique d'un lieu ne peuvent être captées en l'absence de discours et avec des données matérielles tronquées. Les outils numériques permettent d'avancer sur la contextualisation de la grotte au Paléolithique, mais ne livrent ni la perception ni le ressenti du lieu de ces groupes. Le potentiel interprétatif de ces outils reste limité et ils doivent être manipulés avec beaucoup de précautions, car la lecture visuelle des données cartographiques peut être aisément surinterprétée. Des raccourcis peuvent être prêtés aux interprétations et être attribués à des conséquences externes en l'absence de capacité à représenter des facteurs internes. Le danger d'utilisation de ces outils est de créer des carcans de réflexions qui peuvent d'entrer de jeu exclure l'importance de certains facteurs.

Ce travail questionne également la pertinence de la cartographie traditionnelle comme support de compréhension de l'espace. Notre système de spatialisation 3D s'appuie en partie sur une vue aérienne en 2D, or cet aspect de la grotte est illusoire, car elle n'était pas visible au Paléolithique sous ces points de vue, la connaissance de l'ensemble s'effectuait par une exploration à partir du sol. La vision aérienne de la grotte que nous combinons aujourd'hui avec notre connaissance du terrain n'était bien sûr pas disponible. Il serait peut-être intéressant de trouver des alternatives cartographiques n'ont pas uniquement réalisés sur des plans métriques aériens, mais établis à partir du parcours au sol, à l'image des cartes mentales. Des découvertes du lieu sans connaissance préalable du plan topographique permettraient aussi de saisir des nouveaux aspects de la compréhension de l'espace et les moyens d'orientation dans la pénombre. Des ressentis plus primaires de la grotte et de ses volumes. Le travail mené sur les marques rouges révèle tout l'intérêt de se saisir des travaux en géographie de l'orientation, pour se demander comment pallier l'altération des capacités cognitives due à l'obscurité, et comprendre s'il existe une mécanique de repérage, orientations et de prospection de la grotte.

Notre analyse a mis en évidence les apports de la géomatique à l'étude des grottes ornées. Si elle répond déjà à une diversité de problématiques, cette dimension spatiale pour l'étude des grottes ornées devrait s'élargir ces prochaines années grâce à une banalisation des outils. Aussi elle doit se construire dans une perspective réflexive et critique.

Nous envisageons plusieurs perspectives de recherche. Premièrement notre travail a mis en évidence plusieurs hypothèses de recherche sur la première partie de la grotte Chauvet et de Marsoulas, ce travail doit se poursuivre par des études

ultérieures, sur les secondes parties de ces deux ensembles étudiés, afin de valider ou infirmer les résultats préliminaires.

Deuxièmement, ces méthodes géomatiques peuvent être étendues à d'autres dispositifs ornés. En effet, la méthode mise en place pour la lecture du dispositif spatial n'avait pas une visée d'étude uniquement ciblée sur ces deux grottes, cette méthode peut être adaptée à d'autres ensembles ornés. Il serait par exemple intéressant d'adopter l'étude de l'organisation spatiale sur les grottes couloirs pour comparer les dispositions et les spécificités d'organisation des figures. Ce sont par ailleurs, les résultats obtenus pour l'étude des traces de colorant, qui peuvent aussi être appliqués sur d'autres grottes et ouvrir un nouveau sujet de recherche sur la localisation de marqueurs spatiaux. Un réexamen bibliographique détaillé et l'étude entreprise des types de traces mériteraient également une reprise transversale, plus ciblée sur les périodes aurignacio-gravetienne, pour confirmer ou non le lien entre la présence des marques et espaces contraints afin d'observer s'il s'agit d'une spécificité propre à Chauvet.

Troisièmement, les méthodes des SIG 3D employées sur l'archéologie des parois peuvent dépasser largement le champ des grottes ornées. Elles peuvent s'étendre à des questions conservatoires, taphonomiques, mais également à toutes structures en élévation. L'arrivée, aujourd'hui, du BIM en archéologie offre des perspectives précises pour concevoir un raisonnement en 4D, qu'il faudrait investiguer pour en mesurer les potentialités et les bénéfices pour la recherche en grotte.

Enfin dans ce travail, c'est une échelle macroscopique qui a été choisie. Nous avons raisonné en cas d'étude et non en termes de comparaison d'ensemble. Ce type de démarche concernant l'organisation spatiale pourrait à présent s'inscrire dans un contexte régional et culturel plus large, défini en liaison avec les sites d'habitat et le relief. Nous pensons que toute la puissance de cette voie de recherche réside dans son approche multi scalaire. Une approche établie sur le paysage et l'étude intrasite et inter-site permettrait de tirer tout le potentiel de ces méthodes. C'est pourquoi l'intérêt s'applique aux d'autres grottes ornées, mais également aux abris rupestres et sites de plein air.

GLOSSAIRE

ANT (Actor-Network Theory) : la théorie de l'acteur-réseau est développée dans les années 1980 par trois chercheurs de l'école des Mines : Michel Callon, Bruno Latour, Madeleine Akrich. Cette théorie met en avant que le succès ou l'échec d'un projet innovant ne dépend pas des caractéristiques intrinsèques d'une innovation, mais d'un réseau capable de lier ensemble des « actants » hétérogènes.

Aurignacien : l'Aurignacien correspond à la première culture du Paléolithique supérieur. Dater de 43 000-28 000 cal BP. Elle est marquée par un outillage lithique sur grosse lame comme en témoigne la découverte de grattoirs carénés ou encore de lamelles Durfour. Au niveau de l'industrie osseuse, la pièce la plus caractéristique est la pointe de sagaie à base fendue. Les caractéristiques de cette période avec des sites importants d'habitat comme à la Ferrassie. Au niveau de l'art paléolithique, la grotte Chauvet reste le site le plus emblématique. En Allemagne et dans le Jura Souabe, de nombreux sites d'habitat ont livré des statuettes en ivoire et en os.

Archéozoologie : l'archéozoologie est une spécialité de l'archéologique qui questionne la relation humain-animal en s'appuyant notamment sur l'étude des restes (ossements, bois, email, coquilles) dans les sites.

Bioglyphes : les bioglyphes désignent l'ensemble des traces laissées par les animaux dans les cavités souterraines. Il peut s'agir de bauges, de griffades voire excréments attestant de la visite, fréquentation ou de l'occupation du lieu par un type d'espèce.

Carbone 14, (datation par 14c) : méthode de datation mise en place en 1949 par Willard Frank Libby. Cette méthode quantifie les isotopes du C14 radioactif en comparaison C12 lui stable dans l'atmosphère. Cela permet de livrer un âge absolu à des éléments organiques comme le charbon ou encore les ossements. Elle sera introduite en art pariétal dans le courant des années 1980 et permet aujourd'hui de dater directement les dessins réalisés au charbon ou de dater indirectement le mobilier et charbon retrouvé dans les stratigraphies ou sur le sol des cavités.

Entité graphique : en art pariétal une entité graphique est une unité pratique permettant de désigner une figure. Il s'agit traditionnellement d'un animal dans le cadre du bestiaire. Une entité graphique peut également désigner un signe pariétal. Définir et isoler une entité graphique est avant tout une construction pratique utilisée par l'ensemble des chercheurs en art préhistorique afin de pouvoir réaliser un inventaire des thématiques. Elle est utile pour proposer des estimations, des comptages, afin de décrire les thématiques les plus représentées, certains particularismes ou ce qui fait la spécificité d'une grotte ou d'un assemblage d'objets

Figuratif : le figuratif dans l'art paléolithique, se compose de figure zoomorphes et anthropomorphes. L'art animalier correspond aux espèces retrouvées durant le pléistocène : bison, cheval, renne, cerf, bouquetin, mammoth, rhinocéros, aurochs et des espèces moins représentées comme le lion, l'ours, le mégacéros, le poisson, les oiseaux, les reptiles... Dans cette catégorie on trouve également des animaux hybrides, des figures bestialisées dont les espèces restent indéterminées. Elles sont communément appelées « monstre ». L'art figuratif

comprend également des figures humaines voire des humains hybrides qui représente environ 3,3% des représentations en ce qui concerne l'art pariétal uniquement (Sauvet et *al.*, 2019).

Gravettien : période du paléolithique supérieur a située environ entre 28 000-22 000 en Europe caractérisé par un outillage assez rectiligne et l'apparition de microlithes. Cette période comprend également une riche industrie osseuse. Au niveau de l'art, le gravettien est connu à travers de nombreuses grottes en France, Cussac, Pech-Merle, Cosquer ou encore Gargas (Jaubert, 2008). Mais également marquée par la production de Vénus, des statuettes de femmes hypertrophiées.

Ichnologie : l'ichnologie est une spécialité de la paléontologie, qui va porter sur l'étude de ces empreintes et traces fossiles animales (débris, coprolithes, griffures.). La discipline va documenter et relever les caractéristiques et les formes des empreintes fauniques et anthropiques dans le but de comprendre le mode de fréquentation de ces espèces dans la cavité.

INRAP : l'Institut national de recherches archéologiques préventives, c'est un établissement public à caractère administratif de recherche français. Le rôle de cet organisme est de sauvegarder, projeter, déceler, étudier le patrimoine sur le territoire français pouvant être impacté par des travaux d'aménagement.

Loi normale : dans les tests statistiques, évaluer si une distribution répond ou non à la loi normale est capital pour déterminer le test adapté. Les tests de normalité visent donc à savoir si un échantillon correspond à la courbe gaussienne et est suffisamment représentatif en termes d'effectif.

Magdalénien : de 17 000 à 10 000 an voit sur une partie du territoire français les groupes culturels du Magdalénien. Ce groupe est l'avant dernière culture du Paléolithique supérieur et sûrement la mieux connue archéologiquement et documentée. Le magdalénien est marquée par des caractéristiques régionales fortes, ces échanges techniques et culturel. L'outillage y est très standardisé et voit l'apparition de d'harpon ou encore l'utilisation de propulseur. L'art de cette période est marqué par des variations régionales dans les représentations y est très naturaliste. Il y a une volonté de réalisme dans le rendu de ces figures.

Magie de la chasse : théorie de l'art pariétal proposé par Salomon Reinach (Reinach, 1903 ; 1912). Cette pratique consiste à tuer ou multiplier symboliquement les animaux dans l'optique de faire prospérer la chasse. La magie de la chasse présente un but pratique qui concourt à la survie de ces chasseurs (Groenen, 1994). Elle repose sur l'interprétation des scènes atypiques comme des figures d'animaux criblées de « flèches et de traces de sang ». Cette théorie s'appuyait sur les observations d'Henri Breuil et d'Henri Bégoüen, qui voyaient dans l'art une pratique magico-religieuse sur la base d'exemples ethnographiques (Bégoüen, 1929 ; Capitan et Breuil, 1924). Les recherches de Salomon Reinach s'appuyaient sur des figures bestialisées.

MNT (modèle numérique de terrain) : un modèle numérique de terrain et un fichier d'information géographique qui comporte des valeurs altimétriques d'une surface.

Paléolithique supérieur : Dernière période du Paléolithique qui correspond aux cultures de l'homme anatomiquement moderne situé entre -40 000 et -10 000 ans. Cette période se caractérise par le développement de l'art, l'industrie osseuse ou encore le débitage laminaire.

Palimpseste : peut-être qualifié d'un parchemin ou un manuscrit qui a déjà utilisé et qui a été réécrit par-dessus. L'utilisation de ce terme en art pariétal désigne l'enchevêtrements de dessins conduisant à une perte de lisibilité pour celui qui l'étudie.

Panneau : le terme de panneau se retrouve dès les premiers écrits des préhistoriens comme chez Émile Rivière (Rivière, 1901). Dans le dictionnaire de la préhistoire, André Leroi-Gourhan propose une définition assez brève d'un panneau : « *Dans l'art pariétal, surface délimitée occupée par des figures* » (Leroi-Gourhan, 1988, p. 845). Dans son travail sur l'organisation spatiale des grottes ornées, la définition de champ manuel sera préférée à celle de panneau (Sauvet, 1993). Il présente le champ manuel, comme une position d'exécution d'un rayon de 80 cm dans laquelle il n'est pas nécessaire de se déplacer. Cette définition lui permet identifier trois niveaux de figures : les figures isolées (éloignées à plus de 80 cm), les figures juxtaposées situées dans un rayon de 80 cm les unes des autres (assemblages) et les figures présentant des superpositions. Cette définition lui permet alors indirectement d'inclure ces groupements de figures sans pour autant se risquer à une interprétation subjective de ces assemblages. Pour Georges Sauvet, la définition de panneau est une présence graphique encadrée par des éléments naturels de cadrage. Selon lui, la « *surface ornée continue, est généralement circonscrite par des particularités morphologiques majeures du support (failles, fissures, coulées de calcite, angles dièdres, changements de nature ou de coloration de la roche, etc..)* » (Sauvet, 1993, p.303). L'intégration des figures dans un cadre naturel est effectivement un bon repère pour définir le panneau, cependant ces limites naturelles ne sont pas systématiquement présentes.

Pendant : un pendant est une proéminence rocheuse de taille importante provenant du plafond d'une cavité. Ce type de structure est fortement présente à Chauvet et a été fréquemment ornée.

Taphonomie : la taphonomie peut être définie comme « *l'étude de la transition du matériel paléontologique de la biosphère à la lithosphère* » (Efremov, 1940). Appliquée à la paroi et à l'art préhistorique, elle vise par exemple à mettre en évidence les phases de changements d'état de la paroi entre deux phases graphiques (Ferrier et al., 2013).

Signe : ce groupe se caractérise par des formes géométriques simples et complexes et des motifs structurés. La définition proposée est souvent négative, par opposition à l'art figuratif « *tout tracé dans lequel nous ne reconnaissons pas d'intention figurative, sans que cela préjuge de l'existence ou non d'une telle intention* » (Sauvet, 1993, p.219). Ce sont des formes volontaires et récurrentes qui apparaissent aussi bien dans des ensembles ornés ou dans l'art mobilier. La fonction de ces signes apparaît souvent conceptuelle surtout quand ils sont associés aux figures animalières. Si les signes simples comme les points et bâtonnets apparaissent dans toutes les périodes et régions du paléolithique supérieur européen, une partie des motifs plus élaborés sont régionalisés ouvrent directement sur la question de l'appartenance culturelle (Sauvet, 2018). Plusieurs auteurs ont proposé des typologies de lecture des signes et des interprétations fonctionnelles (Leroi-Gourhan, 1972 ; Casado Lopez, 1977 ; Sauvet et al., 1977 ; Vialou, 1981).

WebSIG : un webSIG désigne une plateforme collaborative de partage ou visualisation de données géographiques sur le web. Ce type de dispositif change, de par son existence sur le web, le mode d'usage et de consommation de la donnée géographique.

Zone tampon (buffer) : c'est une zone rayonnante créée autour d'une forme géographique qui épouse ses contours. Elle peut être réalisée autour d'un point, d'une ligne ou d'un polygone.

BIBLIOGRAPHIE

- Akrich, M., 1989. La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie. *Anthropologie et sociétés* 13(2), 31–54.
- Akrich, M., Callon M., Latour B. 1988a. A quoi tient le succès des innovations ? Gérer et comprendre. *Annales des Mines* 11, 4–17.
- Akrich, M., Callon, M. et Latour, B., 1988b. A quoi tient le succès des innovations ? 2 : Le choix des porte-parole. Gérer et comprendre. *Annales des Mines* 12, 14–29.
- Akrich, M., Callon, M. et Latour, B., 2006. *Sociologie de la traduction – Textes fondateurs*. Presses de l'École des Mines. Paris, 303 p.
- Allen, K.M.S., Green, Stanton W, Zubrow, E.B.W., 1990. *Interpreting space: GIS and archaeology*. Taylor & Francis. London, 398 p.
- Alinat, S., 2017. Appropriation d'outils de géomatique ou de cartographie par les usagers novices. *CFC (231 – 232)*, 163–177.
- Álvarez, I., Bodego, A., Aranburu, A., Arriolabengoa, M., Val, M. del, Iriarte, E., Abendaño, V., Calvo, J.I., Garate Maidagan, D., Hermoso de Mendoza, A., Ibarra, F., Legarrea, J., Tapia Sagarna, J., Agirre Mauleon, J., 2018. Geological risk assessment for rock art protection in karstic caves (Alkerdi Caves, Navarre, Spain). *Journal of Cultural Heritage* 33. Cultural heritage in times of armed conflicts in the Middle East: Much more than material damage?, 170–180.
- Angas, J., Le Guillou, Y., Mauduit, E., 2014. Vers une normalisation de la documentation 3D des parois ornées. *Karstologia* 63, 21–34.
- Aubry, T., Luís L., Dimuccio, L.A., 2012. Nature vs. Culture: present-day spatial distribution and preservation of open-air rock art in the Côa and Douro River Valleys (Portugal). *Journal of Archaeological Science* 39, 848–866.
- Aubry, T., Santos, A.T., Luís, L., 2014. Stratigraphies du panneau 1 de Fariseu: analyse structurelle d'un système graphique paléolithique à l'air libre de la vallée du Côa (Portugal). *Paléo: revue d'archéologie préhistorique* 259–270.
- Aujoulat, N., 1987. *Le relevé des œuvres pariétales paléolithiques, enregistrement et traitement des données*. Documents d'archéologie française. Édition de la maison des sciences de l'homme. Paris, 121 p.
- Aujoulat N., Baffier D., Feruglio V., Fritz C., Tosello G., 2001. Les techniques de l'art pariétal. In J. Clottes (dir.) *La grotte Chauvet : l'art des origines*. Seuil. Paris, 152–158.
- Aujoulat, N., 2002. *Lascaux, le rôle du déterminisme naturel: des modalités d'élection du site aux protocoles de construction des édifices graphiques pariétaux*. Thèse de doctorat en archéologie. Université de Bordeaux, 594 p.

- Aujoulat, N., Perazio, G., Faverge, D., Peral, F., 2005a. Contribution de la saisie tridimensionnelle à l'étude de l'art pariétal et de son contexte physique. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 189–197.
- Aujoulat, N., 2005b. Art pariétal et milieu physique. Des modalités de construction de l'espace graphique à la notion de territoire. *Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches*, 145 p.
- Aujoulat, N., Boche E, 2007. Un projet de SIG pour les grottes ornées. *Culture et Recherche* 111, 36 p.
- Aujoulat, N., 2009. Cartographie pluridisciplinaire des panneaux ornés - Les Bases documentaires GESDOC et HADES. In J.-M. Geneste (dir.). *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) : rapport d'activité 2009*. Lyon : ministère de la Culture (SRA Rhone-Alpes), 89–112.
- Aujoulat, N., 2013. *Lascaux : le geste, l'espace et le temps*. Seuil. Paris, 273 p.
- Arias, P., 2009. Rites in the dark? An evaluation of the current evidence for ritual areas at Magdalenian cave sites. *World Archaeology* 41, 262–294.
- Arias, P., Laval, E., Menu, M., González Sainz, C., Ontañón, R., 2011. Les colorants dans l'art pariétal et mobilier paléolithique de La Garma (Cantabrie, Espagne). *Anthropologie* 115, 425–445.
- Azéma, M., 2009. *L'art des cavernes en action : Tome 2 : l'art des cavernes en action: animation et mouvement, l'illusion de la vie*. Errance. Paris, 470 p.
- Azéma, M., 2013. La grotte Chauvet-Pont d'Arc et la Baume-Latrone : les plus anciens récits graphiques. *Art rupestre : des récits millénaires. Dossiers d'archéologie*. 358, 6–13.
- Azéma, M., Clottes, J., 2008a. Les signes de type Chauvet = Chauvet-type signs. *Inora* 50, 2–7.
- Azéma, M., Clottes, J., 2008b. Traces de doigts et dessins dans la grotte Chauvet (Salle du Fond) = Traces of finger marks and drawings in the Chauvet cave (Salle du Fond). *Inora* 52, 1–5.
- Baffier, D., 1988. M. Raphaël, *Trois Essais sur la signification et l'art pariétal paléolithique*. *L'Homme* 28, 384–385.
- Baffier, D., Feruglio, V., 1998. Premières observations sur deux nappes de ponctuations de la grotte Chauvet = First observations on two panels of dots in the Chauvet cave (Vallon-Pont-d'Arc, Ardèche). *INORA* 21, 1–4.
- Baffier, D., Feruglio, V., 2001. La Salle Brunel. In J. Clottes (dir.) *La grotte Chauvet : l'art des origines*. Seuil. Paris, 64–73.
- Baffier, D., Feruglio, V., 2012. Salle Brunel. In J.-M. Geste et al. (dir.) *Publication monographique des premières salles de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc. Annexe au rapport d'activités 2012 pluridisciplinaire de la grotte Chauvet-Pont d'Arc*, 33–64.

- Baffier, D., 2020. Les grottes, des milieux fragiles. Delannoy, J.-J., Geneste, M., (dir.) 2020. Monographie de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. vol. 1, Atlas de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. Paris, 324–329.
- Balbín Behrmann, R., Alcolea González, J., González Pereda, M., Moure Romanillo, A., 2002. Recherches dans le massif d'Ardines : nouvelles galeries ornées de la grotte de Tito Bustillo. *L'Anthropologie* 106, 565–602.
- Balbín-Behrmann, R., Alcolea González, J.J., González Pereda, M., 2005. La Lloseta : une grotte importante et presque méconnue dans l'ensemble de Ardines, Ribadesella. *L'Anthropologie* 109, 641–701.
- Bardisa, M., 2020. Protection juridique. Delannoy, J.-J., Geneste, M., (dir.) 2020. Monographie de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. vol. 1, Atlas de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. Paris, 333–335.
- Barge, O., Rodier, X., Davtian, G., Saligny, L., 2004. L'utilisation des systèmes d'information géographique appliquée à l'archéologie française. *ArchéoSciences* 28, 15–24.
- Barrière, C., 1982. L'art pariétal de Rouffignac: la grotte aux cent mammoths. Fondation Singer-Polignac. Picard. Paris, 205 p.
- Bea, M., Utrilla, P., 2008. Sanctuaires rupestres comme marqueurs d'identité territoriale : Sites d'agrégation et animaux « sacrés ». *Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées* 63. Préhistoire. Art et Sociétés, 109–134.
- Bégoüen, H., 1924. Intervention après la communication de Ch. Peabody. In CIAAP. 2^{ème} Session. Prague, 380 p.
- Bégoüen, H., 1929. A propos de l'idée de fécondité dans l'iconographie préhistorique. *Bulletin de la Société préhistorique française* 26(3), 197–199.
- Bégoüen, H., Breuil, H., 1933. De la protection des grottes préhistoriques. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 30, 235–238.
- Bégoüen, H., Russell, J.-T., 1933. La campagne de fouilles de 1931 à Marsoulas, Tarté et Roquecourbère, Privat. *Bulletin de la Société préhistorique française* 30, 282–300.
- Bégoüen, H., 1939. Les bases magiques de l'art préhistorique. *Scientia* 65 ((CCCXIV/IV) vol. XXXIII), 197–199.
- Bégoüen, R., Clottes, J., 1987. Les Trois-Frères after Breuil. *Antiquity* 61, 180–187.
- Bégoüen, R., Clottes, J., Rouzaud, F., Giraud, J.-P., 1996. Os plantés et peintures rupestres dans la caverne d'Enlène. *Pyrénées préhistoriques : arts et sociétés : actes du 118e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques*, 283–306.
- Benkahoul, L., Kehila, Y., Aliouche, S., 2017. Prise en compte de la sensibilité paysagère dans la sélection des sites d'enfouissement de déchets ménagers par

systèmes d'information géographique et analyse multi critère. Déchets, sciences et techniques 73. [URL : <https://eid.episciences.org/7785>].

Blin, O., 2019. Retour vers le passé : à propos d'un article paru en 1988 dans Les nouvelles de l'archéologie. Les nouvelles de l'archéologie 157-158, 128–131.

Billard, C., 2008. Le programme ARTEMIS : nouvel outil pour la datation radiocarbone AMS (Spectromètre de Masse par Accélérateur) et nouvelles problématiques. In Situ. Revue des patrimoines. [URL : <https://journals.openedition.org/insitu/3342>].

Binford, S.R., Binford, L.R., 1968. New perspectives in archeology. Aldine Pub. Co. Chicago, 373 p.

Bourdier, C., Fuentes Rodriguez, O.G., Hamon, G., Pinçon, G., 2008. Technologies 3D appliquées à la sculpture pariétale magdalénienne. Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques 132, 123–142.

Bourdier, C., Fuentes, O., Pinçon, G., 2017. Methodological contribution to the integrated study of European Palaeolithic rock art: The issue of the audience and the perceptibility of Roc-aux-Sorciers rock art (Angles-sur-l'Anglin, France). With the back to the art. Context of Pleistocene cave art 430, 114–129.

Boche, E., Jaillet S., Sadier, B., Cretin, C., Ployon E., Robert, E., Delannoy J.-J., Geneste J.-M., 2014. De l'art pariétal à ses contextes : bilan des applications pour l'enregistrement, l'intégration et l'analyse des informations spatiales. In P. Paillet (dir.). Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation, Actes du colloque Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique (MADAPCA) (Paris, 16-18 nov., 2011). Paléo. Numéro spécial, 145–152.

Boche, E., Monney J., Ployon, E., Sadier B., Delannoy, J.-J., Geneste, J.-M., 2010. Le SIG comme outil fédérateur de la recherche interdisciplinaire : application à la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Actes des 2e Journées d'Informatique et Archéologie de Paris –JIAP 2010. Paris, 97–112.

Bocherens, H., Drucker D., Billiou, D., Geneste, J.-M., Van der Plicht, J., 2006. Bears and humans in Chauvet cave (Vallon-Pontd'Arc, Ardèche, France) : insights from stable isotopes and radiocarbon dating of bone collagen. Journal of human evolution 50(3), 370–376.

Briquet, Q., 2012. Mise en place d'un WebSIG de l'île de Délos (Cyclades). Géomatique Expert 8, 30–43.

Brot, J., 2005. Utilisation des reliefs naturels dans l'art gravé et sculpté pariétal du paléolithique supérieur français. Université de Dijon. Mémoire universitaire, 190 p.

Brot, J., 2012. L'utilisation des reliefs naturels dans l'art pariétal paléolithique. In J. Clottes (dir.). L'art pléistocène dans le monde, Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, Symposium « Art pléistocène en Europe ». Numéro

spécial de Préhistoire, Art et Sociétés. Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées, 75–91.

Brovelli M., Magni D., 2003. An archaeological web GIS application based on mapserver and PostGIS. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 35 (5/W12), 89–94.

Breuil, H., 1952a. Quatre cent siècles d'art pariétal : les cavernes ornées de l'Age du Renne. F. Windels. Centre d'étude et documentation préhistorique. Montignac, 413 p.

Breuil, H., 1952b. Marsoulas. In Quatre cent siècles d'art pariétal: les cavernes ornées de l'Age du Renne. F. Windels. Centre d'étude et documentation préhistorique, Montignac, 239–245.

Breuil, H., Jeannel, R., 1955. La grotte ornée du Portel à Loubens (Ariège). L'Anthropologie 59, 197–204.

Brodard, A., Guibert, P., Ferrier, C., Debard, E., Kervazo, B., Geneste, J.-M., 2014. Les rubéfections des parois de la grotte Chauvet: une histoire de chauffe? In P. Paillet (dir.). Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation, Actes du colloque Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique (MADAPCA) (Paris, 16-18 nov., 2011). Paléo. Numéro spécial, 233–235.

Brunet, R., Ferras, R., Théry, H., (dir.), 1993. Les Mots de la géographie. Dictionnaire critique. Reclus/La Documentation française. Paris, 518 p.

Burens, A., Grussenmeyer, P., Guillemin, S., Carozza, L., Lévêque, F., & Mathé, V., 2013. Methodological developments in 3-D scanning and modelling of archaeological French heritage site: The Bronze age painted cave of “les Fraux”, Dordogne (France). The International Archives of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences XL-5/W2, 131–135.

Callon, M., 1981. Pour une sociologie des controverses technologiques. *Fundamenta Scientiae* 2, 381–399.

Callon, M., 1986. Eléments pour une sociologie de la traduction. La domestication des coquilles Saint-Jacques et des marins-pêcheurs dans la baie de Saint-Brieuc. *L'Année Sociologique* 36, 169–208.

Callon, M., Ferrary, M., 2006. Les réseaux sociaux à l'aune de la théorie de l'acteur-réseau. *Sociologies pratiques* 13, 37–44.

Callon, M., Lhomme, R., Fleury, J., 1999. Pour une sociologie de la traduction en innovation. *Recherche & formation* 31, 113–126.

Cannavò, A., Fadin, L., 2016. Du croquis de fouille au Web Sig. Le Système d'information géographique d'Amathonte (Chypre). *Les nouvelles de l'archéologie* 145, 28–32.

- Cantalejo, P., 2006. La Cueva de Ardales : arte prehistórico y ocupación en el Paleolítico Superior. Málaga. Centro de Ediciones de la Diputación de Málaga, 427 p.
- Campbell, H.J., 1993. Successful GIS Implementation: the impossible dream? Proceedings of the 16th Urban Data Management Symposium. Vienna 6-12 september, 144-57.
- Capitan, L., Breuil, H., Peyrony, D., 1924. Les Combarelles aux Eyzies (Dordogne). Institut de Paléontologie Humaine. Paris. Masson, 192 p.
- Cartailhac E., 1902. Les cavernes ornées de dessins. La grotte d'Altamira (Espagne). « Mea culpa d'un sceptique ». L'Anthropologie 13, 348-354.
- Cartailhac, E., Breuil, H., 1905. Les peintures et gravures murales des cavernes pyrénéennes: II, Marsoulas, près Salies-du-Salat (Haute-Garonne). L'Anthropologie 16, 431-444.
- Cartry, M., 1993, Les bois sacrés des autres : les faits africains. In Les bois sacrés, Actes du colloque international de Naples. Collection du centre Jean Bérard 10, 193-208.
- Cau-Durban, D., 1885. La Grotte de Marsoulas. Matériaux pour l'Histoire de l'Homme 19 (3/II), 341-349.
- Cau-Durban, D., 1886. La Grotte de Marsoulas. Revue du Comminges 4, 314-327.
- Cauvin, J., 1994. Naissance des divinités, naissance de l'agriculture : la révolution des symboles au Néolithique. CNRS éditions, Paris, France. 304 p.
- Catroux, M., 2002. Introduction à la recherche-action : modalités d'une démarche théorique centrée sur la pratique. Recherche et pratiques pédagogiques en langues de spécialité 21(3). Cahiers de l'Apliu, 8-20.
- Casajus, D., 2010. À propos d'une géométrie vernaculaire : pratiques d'orientation en pays touareg. Afriques. Débats, méthodes et terrains d'histoire. [URL : <http://journals.openedition.org>].
- Chambat, P., 1995. L'innovation technique. Récents développements en sciences sociales - vers une nouvelle théorie de l'innovation (Patrice Flichy). Réseaux. Communication - Technologie - Société 13, 207-210.
- Chaumet, A., 2008. Webmapping, archéologie et Géoportail. In F. Djindjian, H. Noizet, L. Costa, F. Pouget (dir.). Webmapping dans les sciences historiques et archéologiques, Actes du colloque international (Paris, 3-4 juin 2008). Archeologia e Calcolatori 19, 79-86.
- Chavot, P., Masseran, A., 2016. Controverse publique (sociologie des sciences). Publictionnaire. Dictionnaire encyclopédique et critique des publics. [URL :

<http://publictionnaire.huma-num.fr/notice/controverse-publique-sociologie-des-sciences>].

Chazaly, B., Saillant, M., et Varrel, E., 2010. La lasergrammétrie, un nouvel outil pour cartographier les cavités. Actes du colloque AFK–Pierre St. (Martin 2007), *Karstologia Mémoires* 17, 93–101.

Chippindale, C., Taçon, P. S. C., 1993. Two old painted panels from Kakadu: Variation and sequence in Arnhem Land rock-art. In J. Steinberg, A. Watchman, P. Faulstich & P. S. C. Taçon (dir.). *Time and space: Dating and spatial considerations in rock-art research*, 32–56.

Clerc, P., 2019. Géographie de la désorientation. *L'Espace géographique* 48, 182–186.

Clottes, J., 1993a. Contexte archéologique interne. L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 49–58.

Clottes, J., 1993b. Ichnologie. L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 59–67.

Clottes, J., Courtin, J., 1994. La grotte Cosquer. Peinture et gravures de la caverne engloutie. Seuil. Paris, 200 p.

Clottes, J., Chauvet, J.-M., Brunel-Deschamps, E., Hillaire C., Daugas J.-P., Arnold, M., Cachier, H., Evin, J., Fortin P., Oberlin, C., Tisnerat N., Valladas H., 1995a. Les peintures paléolithiques de la grotte Chauvet, *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences* 320 (IIa), 1133–1140.

Clottes, J., 1995b. La grotte Chauvet aujourd'hui. In J.-M. Chauvet, E. Brunel-Deschamps, C. Hillaire (dir.). *La Grotte Chauvet à Vallon Pont-d'Arc*. Seuil. Paris, 81–116.

Clottes, J., 1995c. L'originalité de la grotte Chauvet-Pont-d'Arc, à Vallon-Pont-d'Arc (Ardèche) (information). *Comptes rendus des séances de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres* 139, 563–568.

Clottes, J., Lewis-Williams, D., 1996. Les chamanes de la préhistoire: transe et magie dans les grottes ornées. Seuil. Paris, 118 p.

Clottes, J., (dir.), 2001. *La grotte Chauvet: l'art des origines, Arts rupestres*. Seuil. Paris, 224 p.

Clottes, J., 2003. De « l'art pour l'art » au chamanisme : l'interprétation de l'art préhistorique. *La revue pour l'histoire du CNRS* 8. [URL : <http://journals.openedition.org/histoire-cnrs/553>].

Clottes, J., Courtin, J., Vanrell, L., 2005. *Cosquer redécouvert*. Seuil. Paris, 255 p.

Clottes, J., 2010. *Les cavernes de Niaux: art préhistorique en Ariège-Pyrénées*. Errance. Paris, 231 p.

- Clottes, J., 2012. Ritual Cave Use in European Paleolithic Caves. In H. Moyes (dir.). *Sacred Darkness: A Global Perspective on the Ritual Use of Caves*. University Press of Colorado, 15–26.
- Clottes J., Azéma M., 2014. Signes (aurignaciens ?) identiques dans les grottes Chauvet-Pont d'Arc et Candamo = Identical (aurignacian ?) signs in the Chauvet-Pont d'Arc and Candamo caves », *Inora* 70. 1–6.
- Collignon, B., 1996. *Les Inuits, ce qu'ils savent du territoire*. L'Harmattan. Paris, 256 p.
- Corchón Rodríguez, S., García, E., Aguilera, D.G., Muñoz, A.L., Lahoz, J.S., Herrero, J.S. 2009. 3D scanning and three-dimensional modelling: a new methodology applied to the study and conservation of Palaeolithic rock art. The examples of Las Caldas cave (Priorio, Asturias) and the Peña de Candamo (San Román de Candamo, Asturias, Spain). *Acts of the XVth International Congress (UISPP)*, (Lisbon, 4-9 sept., 2006). Archeopress. BAR International Series 2029. Oxford, 9–21.
- Corchón Rodríguez, M.S., Maidagan, D.G., González-Aguilera, D., Nieto, Á.L.M., Gómez-Lahoz, J., Herrero, J.S., 2011. Nouveaux regards sur la Grotte de La Peña (San Román de Candamo, Asturias, Espagne). *Art préhistorique. L'Anthropologie* 115, 384–424.
- Corchón, M.S., Garate D., Hernando C., Ortega P., Rivero O. 2012. Vers un modèle décoratif pour la grotte de la Peña de Candamo (Asturies, nord de l'Espagne) à la lumière de nouvelles découvertes. In J. Clottes (dir.). *L'art pléistocène dans le monde, Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, Symposium « Art pléistocène en Europe »*. Numéro spécial de *Préhistoire, Art et Sociétés*, *Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées*, 123–143.
- Cormont, J., 2015. *Le courant de l'action-recherche matérialiste en sociologie. Choisir ses méthodes et son camp. Dossier : Sur la recherche en éducation permanente / Populaire, Contributions au débat 5. Collectif Formation et Société et Labocoop*, 37–43. [URL: http://ep.cfsasbl.be/IMG/pdf/analyse2015_le_courant_de_l_action_recherche_mat_erialiste.pdf]
- Costa, L., 2010. *Impacts des approches géomatiques dans les organisations de l'archéologie. Thèse de doctorat en archéologie. Université Paris Ouest Nanterre-La Défense*, 1338 p.
- Costa, L., 2012. La construction de référentiels géohistoriques : un enjeu pour l'interdisciplinarité dans les sciences historiques. *L'Espace géographique* 41, 340–351.
- Costa, L., Desachy, B., 2021. L'approche de l'espace par les archéologues : des pratiques en évolution. *Histoire de la recherche contemporaine. La revue du Comité pour l'histoire du CNRS*, 142–152.

Coutant, A., 2015. Les approches sociotechniques dans la sociologie des usages en SIC. Usages et usagers de l'information à l'ère numérique. *Revue française des sciences de l'information et de la communication* 6. [URL : <https://journals.openedition.org/rfsic/1271>].

Dacos, M., 2011. Manifeste des Digital Humanities. [URL : <http://tcp.hypotheses.org/318>].

David, P., 1985. Clio and the economics of QWERTY. *American Economic Review* 75, 332–337.

Débard, E., Delannoy, J.-J., Ferrier, C., Kervazo, B., Perrette, Y., Perroux, A.-S., 2002. Les études karstogéniques menées dans la grotte Chauvet. Premiers résultats et implications paléoenvironnementales. *Bulletin de la Société Préhistoriques Ariège-Pyrénées* 67, 29–52.

Delannoy, J.-J., Sadier, B., Jaillet, S., Ployon, E., Geneste, J.-M., 2010. Reconstitution de l'entrée préhistorique de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche, France) : les apports de l'analyse géomorphologique et de la modélisation 3D. *Karstologia* 56, 17–34.

Delannoy, J.-J., Debard, É., Ferrier, C., Kervazo, B., Perrette, Y., 2001a. Contribution de la cartographie morphologique souterraine dans l'étude spéléogénique de la grotte Chauvet : premiers éléments spéléogéniques et implications paléogéographiques, préhistoriques et paléontologiques, In É. Debard (dir.). *Moyenne vallée du Rhône et Vivarais (Drôme et Ardèche) : loess de Saint-Vallier, karst du Bas-Vivarais, volcanisme quaternaire du Vivarais*, livret-guide de l'excursion annuelle de l'Afeq (Lyon, 2000). Lyon : université Claude-Bernard, 78–95.

Delannoy, J.-J., Debard, É., Ferrier, C., Kervazo, B., Perrette, Y., 2001b. La cartographie morphologique souterraine : apports aux reconstitutions paléogéographiques et paléoenvironnementales : application à la grotte Chauvet. *Quaternaire* 12(4), 235–248.

Delannoy, J.-J., Debard, É., Ferrier, C., Jaillet, S., Kervazo, B., Perrette, Y., Perroux, A.-S., Lopez, M., Paillet, A., 2005. Atlas géomorphologique de la grotte Chauvet. In J.-M. Geneste (dir.). *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) : rapport d'activité 2005*, vol. 1. Lyon : ministère de la Culture (SRA Rhône-Alpes), 18 p.

Delannoy, J.-J., Geneste, J.-M., Jaillet, S., Boche, É., Sadier, B., 2012. Les aménagements et structures anthropiques de la grotte Chauvet-Pont d'Arc : apport d'une approche intégrative géomorphoarchéologique. In J.-J. Delannoy, S. Jaillet, B. Sadier (dir.). *Karsts, paysages et préhistoire : journées 2012 de l'Association française de karstologie dans le Sud-Ardèche*, Le Bourget-du-Lac : Laboratoire Edytem. Edytem 13, 43–62.

Delannoy, J.-J., Genuite, K., Jaillet, S., Sadier, B., Voisin, Ch., Guillier, B., 2016. Relevés géophysiques de l'éboulis d'entrée et modélisation de la pénétration. In J.-M. Geneste (dir.). *Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc*

(Ardèche) : rapport d'activité 2016, Lyon : ministère de la Culture (SRA Rhône-Alpes), 61–81.

Delannoy, J.-J., Geneste, M., (dir.), 2020. Monographie de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. vol. 1, Atlas de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Éditions de la Maison des sciences de l'homme. Paris, 384 p.

Deligne, A., 2014. Développer des services pour les associations d'usagers de l'eau. Analyse d'un processus d'innovation, le projet Asirri au Cambodge, Nogent-sur-Marne. *Études et Travaux en ligne* 43, 106 p.

Delporte, H., Iakovleva, L., et Pinçon, G., 1998. La Frise sculptée du Roc-aux-Sorciers. *Bulletin de la Société préhistorique française* 95(1), 110–111.

Delluc, B., Delluc, G., Bazile-Robert, E., Galinat, B., Guichard, F., Ozanne, M., 1983. Les grottes ornées de Domme (Dordogne) : La Martine, Le Mammouth et le Pigeonnier. *Gallia préhistoire* 26(1), 7–80.

Dell'Unto, N., Leander, A. M., Ferdani, D., Dellepiane, M., Callieri, M., Lindgren, S. 2013. Digital reconstruction and visualization in archaeology: Case-study drawn from the work of the Swedish Pompeii Project. In *Digital Heritage International Congress (Digital Heritage)* 1, 621–628.

Dell'Unto, N., Landeschi, G., Leander Touati, A.-M., Dellepiane, M., Callieri, M., Ferdani, D., 2016. Experiencing Ancient Buildings from a 3D GIS Perspective: a Case Drawn from the Swedish Pompeii Project. *Journal of Archaeological Method and Theory* 23, 73–94.

Dell'Unto, N., Landeschi, G., Apel, J., Poggi, G., 2017. 4D Recording at the Trowel's Edge : Using Three-Dimensional Simulation Platforms to Support Field Interpretation. *Journal of Archaeological Science: Reports* 12, 632–645.

Desachy, B., 2012. Formaliser le raisonnement chronologique et son incertitude en archéologie de terrain. *Cybergeo : European Journal of Geography*. [URL : <http://journals.openedition.org/cybergeo/25233>].

Di-Ann, E. 2006. What-is-Neogeography-anyway [URL : <https://platial.typepad.com/news/>].

Djindjian, F., 2008. Webmapping in the historical and archaeological sciences. An introduction. In F. Djindjian, H. Noizet, L. Costa, F. Pouget (dir.). *Webmapping dans les sciences historiques et archéologiques, Actes du colloque international (Paris, 3-4 juin 2008)*. *Archeologia e Calcolatori*, 19, 9–16.

Dosse, F., 2012. Histoire du structuralisme. Tome 1 : Le champ du signe 1945-1966. La Découverte. Paris, 474 p.

Domingo, I., Villaverde, V., López-Montalvo, E., Lerma, J.L., Cabrelles, M., 2013. Latest developments in rock art recording: towards an integral documentation of Levantine rock art sites combining 2D and 3D recording techniques. *Journal of Archaeological Science* 40, 1879–1889.

- Domingo Sanz, I., 2014. Rock Art Recording Methods: From Traditional to Digital. In Smith, C., (Ed) Encyclopedia of Global Archaeology. Springer. New-York, 6351–6357.
- Dupuy, L., 2004. Co, multi, inter, ou trans-disciplinarité ? La confusion des genres..., Work in progress / Document de travail à destination des étudiants du CIEH (Certificat International d'Écologie Humaine), 4 p.
- Efremov, I., 1940. Taphonomy: a New Branch of Paleontology. Panamerican Geologist 74, 431–440.
- Elez, J., Cuezva, S., Fernandez-Cortes, A., Garcia-Anton, E., Benavente, D., Cañaveras, J.C., Sanchez-Moral, S., 2013. A GIS-based methodology to quantitatively define an Adjacent Protected Area in a shallow karst cavity: The case of Altamira cave. Journal of Environmental Management 118, 122–134.
- Favory, F., Nuninger, L., Sanders, L., 2012. Intégration de concepts de géographie et d'archéologie spatiale pour l'étude des systèmes de peuplement. L'Espace géographique 41, 295–309.
- Favory, F., Van der Leeuw, S. E., Gaudey, J., Turina, B., Bertoncello, F., Fovet, E., 2016. Voyage dans l'archéologie spatiale anglo-saxonne. Presses universitaires de Franche-Comté. Besançon, 201 p.
- Fernandez-Cortes, A., Calaforra, J.M., Sanchez-Martos, F., 2006. Spatiotemporal analysis of air conditions as a tool for the environmental management of a show cave (Cueva del Agua, Spain). Atmospheric Environment 40, 7378–7394.
- Ferrier, C., Debard, E., Kervazo, B., Aujoulat, N., Baffier, D., Denis, A., Feruglio, V., Fritz, C., Gély, B., Geneste, J.-M., Konik, S., Lacanette, D., Lastennet, R., Maksud, F., Malaurent, P., Plassard, F., Tosello, G., 2013. Approche taphonomique des parois des grottes ornées. In Actes Du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, Symposium « Art pléistocène en Europe ». Numéro spécial de Préhistoire, Art et Sociétés. Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées, 1071–1093.
- Ferrier, C., Aujoulat, N., Bastian, F., Denis, A., Lobo, V.J., Kervazo, B., Konik, S., Lacanette, D., Large, D., Lastennet, R., Malaurent, P., Jiménez, C.S., 2014. Une grotte-laboratoire pour l'étude taphonomique des parois des grottes ornées : la grotte de Leye à Marquay (Dordogne, France). Paléo, 331–338.
- Ferrier, C., Konik, S., Ballade, M., Bourdier, C., Chapoulie, R., Feruglio, V., Queffelec, A., Jaubert, J., 2017. Cussac Cave (Dordogne, France): The role of the rock support in the parietal art distribution, technical choices, and intentional and unintentional marks on the cave walls. With the back to the art. Context of Pleistocene cave art. Quaternary International 430, 30–41.
- Ferrier, C., Auguin, G., Aujoux, A., Bellivier, A., Bourdier, C., Brodard, A., Debard, E., Decoster, L., Deldicque, D., Drean, V., Feruglio, V., Kervazo, B., Lacanette, D., Leblanc, J.-C., Mindeguia, J.-C., Fourrier, N., Queffelec, A., Rouzard, J.-N., Salmon, F., Suzanne, M., Thery-Parisot, I., Traoré, A., Truong, T., Guibert, P., 2017. Les feux de la

grotte Chauvet-Pont d'Arc : approches expérimentales. *Ardèche archéologie* 34, 3–12.

Feruglio, V., Baffier, D., 2005. Les dessins noirs des Salles Hillaire et du Crâne, grotte Chauvet-Pont d'Arc : chronologie relative. *Bulletin de la Société archéologique française* 102, 149–158.

Feruglio, V., Baffier, D., 2007. Le rouge à Chauvet-Pont d'Arc. In H. Floss, N. Rouquerol (dir.). *Les chemins de l'art aurignacien en Europe = Das Aurignacien und die Anfänge der Kunst in Europa*, colloque (Aurignac, 2005). Aurignac : Musée-Forum, 379–392.

Feruglio, V., Robert, E., 2015. L'art paléolithique autour d'André Leroi-Gourhan : les chemins de la recherche, vers une ethnologie préhistorique ? In P. Soulier (dir.). *André Leroi-Gourhan : "l'homme, tout simplement"*. Broccard, 159–172.

Feruglio, V., Dutailly, B., Ballade, M., Bourdier, C., Ferrier, C., Konik, S., 2015. Un outil de relevés 3D partagé en ligne: premières applications pour l'art et la taphonomie des parois ornées de la grotte de Cussac (ArTaPOC/programme LaScArBx). In Lacanette-Puyo, D., Mora, P., Vergnieux, R., Jaubert, J. (dir.). *Virtual Retrospect 2013*. Archeovision, Ausonius. Bordeaux, 49–54.

Flichy, P., 1995. L'innovation technique : récents développements en sciences sociales : vers une nouvelle théorie de l'innovation. *La découverte*. Paris, 250 p.

Flichy, P., 2008. Technique, usage et représentations. *Rezeaux* 148-149, 147–174.

Fritz, C., 2020. Pour une Anthropologie de l'Art Paléolithique, Mémoire d'habilitation à diriger les recherches. Université de Toulouse Jean-Jaurès, 174 p.

Fritz, C., Tosello, G., 1999. Nouveau regard sur la grotte ornée de Marsoulas, *Préhistoire ariégeoise* 54, 83–116.

Fritz, C., Tosello, G., 2004. Marsoulas : une grotte ornée dans son contexte culturel. In M. Lejeune et A.C. Welté (dir.). *Actes du colloque 8.2. L'art pariétal paléolithique dans son contexte naturel*. XIVe Congrès de l'U.I.S.P.P., Liège. ERAUL, 59–67.

Fritz, C., Tosello, G., 2005. Entre Périgord et Cantabres: les Magdaléniens de Marsoulas. In J. Jaubert, M. Barbaza, (dir.). *Territoires, déplacements, mobilité, échanges durant la Préhistoire*. 126e Congrès National des Sociétés Historiques et Scientifiques. Toulouse 2001. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 311–327.

Fritz, C., Tosello, G., 2007. The Hidden Meaning of Forms: Methods of Recording Paleolithic Parietal Art. *Journal of Archaeological Method and Theory* 14, 48–80.

Fritz, C., Tosello, G., 2008. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). *Bilan Scientifique 2008*. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 41 p.

- Fritz, C., Tosello, G., Azéma, M., Moreau, O., Perazio, G., Péral, J., 2010. Restauration virtuelle de l'art pariétal paléolithique : Le cas de la grotte de Marsoulas. In Situ. Revue des patrimoines. [URL : <http://journals.openedition.org/insitu/6774>].
- Fritz, C., Tosello, G., Perazio, G., Peral, J., Guichard, L., 2010. Technologie 3D et relevé d'art pariétal: une application inédite dans la grotte de Marsoulas. In Situ. Revue des patrimoines. [URL : <http://journals.openedition.org/insitu/6745>].
- Fritz, C., Tosello, G., 2012. Galerie du Cactus. In J.-M. Geste et *al.* (dir.) Publication monographique des premières salles de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc. Annexe au rapport d'activités 2012 pluridisciplinaire de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, 102–105.
- Fritz, C. Barbaza, M., Camus, H., Chadelle, B., Fosse, F., Kasarhérou E., Petillon, J.-M., Lacombe, S., Potin, Y., Tosello G., Walter P., Willis, M. 2012b. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Bilan Scientifique 2012. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 241 p.
- Fritz, C., Tosello, G., 2014. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Papport triennal d'activité 2012 – 2013 - 2014. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 194 p.
- Fritz, C., Tosello, G., 2015. Du geste au mythe : techniques des artistes sur les parois de la grotte Chauvet-Pont d'Arc, In Actes du symposium international, 8-10 avril 2013, New York University, P@lethnologie. Presented at the Aurignacian Genius : art, technologie et société des premiers hommes modernes en Europe, 287–321.
- Fritz, C., Willis, M.D., Tosello, G., 2016a. Reconstructing Paleolithic cave art: The example of Marsoulas Cave (France). Journal of Archaeological Science Reports 10, 910–916.
- Fritz, C., Tosello, G., 2016b. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Bilan Scientifique 2016. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 241 p.
- Fritz, C., Tosello, G., 2017. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Bilan Scientifique 2017. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 116 p.
- Fritz, C., Tosello, G., 2019. Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Bilan Scientifique 2019. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 175 p.
- Fritz, C., Tosello, G., Fleury, G., Kasarhérou, E., Walter, P., Duranthon, F., Gaillard, P., Tardieu, J., 2021. First record of the sound produced by the oldest Upper Paleolithic seashell horn. Science Advances 7(7). [URL : <https://advances.sciencemag.org/content/7/7/eabe9510>].
- Fuentes, O., Lepelé, J., et Pinçon, G., 2019. Transferts méthodologiques 3D appliqués à l'étude de l'art paléolithique : une nouvelle dimension pour les relevés d'art

- préhistorique. In *Situ* 39. *Revue du Patrimoine*. [URL : <http://journals.openedition.org/insitu/21510>].
- Fuhrer, C., Hoareau, É., Cucchi, A., 2017. Le rôle des Technologies de l'Information et de la Communication dans la dynamique d'un réseau d'innovation : une approche ANT. *Innovations* 54, 197–228.
- Fosse, P., Fourvel, J.-B., Lateur, N., Philippe, M., Frerebeau, N., 2018. Les Canidés (Canis, Cuon) de la grotte Chauvet Pont d'Arc : réflexions sur les données paléontologiques et ichnologiques. *Relations Hommes-Canidés, PACEA (UMR 5199); Institut Ausonius (UMR 5607). Actes du colloque (Oct 2018, Pessac, France)*, 123–140.
- Foucher, P., 1991. Expérience en double aveugle sur l'art pariétal de la Grotte de Marsoulas. *Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées* 46, 75–118.
- Garcia, M.-A., 1999. La piste de pas humains de la grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc. *INORA* 23, 25–29.
- Garcia, M.-A., 2005. Ichnologie générale de la grotte Chauvet. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 103–108.
- García, J.M.B., 2004. The Use of the Harris Matrix to Document the Layers Removed during the Cleaning of Painted Surfaces. *Studies in Conservation* 49, 245–258.
- García Díez, M., Garrido Pimentel, D., 2010. Las Chimeneas. In B. Malpelo García y I. Castanedo Tapia (dir.). *Las cuevas con arte paleolítico en Cantabria*, Asociación Cántabra para la Defensa del Patrimonio Subterráneo, 205–210.
- Garcia-Moreno, A., 2013a. GIS-based methodology for Palaeolithic site location preferences analysis. A case study from Late Palaeolithic Cantabria (Northern Iberian Peninsula). *Journal of Archaeological Science* 40, 217–226.
- Garcia-Moreno, A., 2013b. To see or to be seen... is that the question? An evaluation of palaeolithic sites' visual presence and their role in social organization. *Journal of Anthropological Archaeology* 32, 647–658.
- Garate, D., Intxaurbe Alberdi, I., Moreno-García, J., 2020. Establishing a predictive model for rock art surveying: The case of Palaeolithic caves in Northern Spain. *Journal of Anthropological Archaeology* 60. [URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027841652030204X>].
- Gély, B., Azéma, M., 2005. *Les mammoths de la grotte Chauvet*. Seuil. Paris, 116 p.
- Genevois, S., 2016. Outils géomatiques et apprentissages en géographie : quels enjeux du point de vue de la recherche en éducation ? *Les Sciences de l'éducation - Pour l'Ère nouvelle* 49(4), 93–116.
- Geneste, J.-M., Fagnart, J.-P., Delannoy, J.-J., 2005. La grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc : un bilan des recherches pluridisciplinaires. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 5–7.

- Genty, D., Ghaleb, B., Plagnes, V., Causse, Ch, Valladas, H., Blamart, D., Massault, M., Geneste, J.-M., Clottes, J., 2004. Datations U/Th (TIMS) et 14C (AMS) des stalagmites de la grotte Chauvet (Ardeche, France) : intérêt pour la chronologie des évènements naturels et anthropiques de la grotte. *Comptes Rendus Paléovol* 3(8), 629–642.
- Genty, D., Blamart, D., Ghaleb, B., 2005. Apport des stalagmites pour l'étude de la grotte Chauvet : datations absolues U/Th (TIMS) et reconstitution paléoclimatique par les isotopes stables de la calcite. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 45–62.
- Gheco, L., Gastaldi, M., Marte, F., Quesada, M., Tascon, M., Mastrangelo, N., 2017. About fires and paintings: Three stratigraphic insights on the history of a cave with prehispanic rock art. *Journal of Archaeological Science: Reports* 15, 48–58.
- Gillings, M., 2011. Chorography, Phenomenology and the Antiquarian Tradition. *Cambridge Archaeological Journal* 21, 53–64.
- Gillings, M., 2012. Landscape Phenomenology, GIS and the Role of Affordance. *Journal of Archaeological Method and Theory* 19, 601–611.
- Gillings, M., 2015. Fugitive Monuments and Animal Pathways: Explaining the Stone Settings of Exmoor. *Proceedings of the Prehistoric Society* 81, 87–106.
- Glory, A., 1945. Une cachette magdalénienne de grandes lames en silex dans les Hautes-Pyrénées. *Bulletin de la Société archéologique du Midi de la France*, séance du 20 mars, 432–434.
- González, R., 1987. Organisation, distribution and typology of the art of Monte Castillo, Spain. *Rock art Research* 2(4), 127–136.
- González, R., 2001. Art et espace dans les grottes paléolithiques cantabriques. Jérôme Millon, 476 p.
- Goodchild, M.F., 1992. Geographical information science. *International journal of geographical information systems* 6, 31–45.
- Goodchild, F. M. 2010. Twenty years of progres: GIScience. *Journal of Spatial Information Science* 1, 3–20.
- Groenen, M., 1994. Pour une histoire de la préhistoire. Jérôme Million. *L'Homme des Origines*. Grenoble, 603 p.
- Groenen, M., 2013. De l'espace spéléologique à l'espace vécu : l'exemple des grottes du Mont Castillo (Cantabrie, Espagne). *Bulletin de la Société préhistorique Ariège-Pyrénées* 68. *Préhistoire, Art et Sociétés*, 73–95.
- Groenen, M., 2018. *L'art des grottes ornées du Paléolithique supérieur*. Académie royale de Belgique. Bruxelles, 306 p.
- Goulet, F., 2008. L'innovation par retrait : reconfiguration des collectifs sociotechniques et de la nature dans le développement de techniques culturelles

sans labour. Thèse de doctorat de sociologie. Université de Pierre Mendès France de Grenoble, 433 p.

Guibert, P., Brodard, A., Quiles, A., Geneste, J.-M., Baffier, D., Debard, E., Ferrier, C., 2015. When were the walls of the Chauvet-Pont d'Arc Cave heated? A chronological approach by thermoluminescence. *Quaternary Geochronology* 29, 36–47.

Gunn, R. G., Ogleby, C. L., Lee, D., Whear, R. L. 2010. A method to visually rationalise superimposed pigment motifs. *Rock Art Research* 27, 131–136.

Hamelin, L.-É., 2005. Les monuments de cailloux dans le paysage arctique. *Cahiers de géographie du Québec* 1, 5–19.

Hamilton, S., Whitehouse, R., Brown, K., Combes, P., Herring, E., Thomas, M.S., 2006. Phenomenology in practice: towards a methodology for a 'subjective' approach. *European Journal of Archaeology* 9, 31–71.

Hanna, S.P., Hodder, E.F., 2015. Reading the signs: using a qualitative Geographic Information System to examine the commemoration of slavery and emancipation on historical markers in Fredericksburg, Virginia. *Cultural Geographies* 22, 509–529.

Harris, E., 1979. Principles of archaeological stratigraphy. *Studies in archaeological science*. Academic press. London, 136 p.

Harris, E., Gunn, R.G. 2017. The Use of Harris Matrices in Rock Art Research. In D. Bruno, J. McNiven Ian (dir.). *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, Oxford University Press. [URL : <https://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780190607357.001.0001/oxfordhb-9780190607357-e-18>].

Haubt, R.A., Taçon, P.S.C., 2016. 3A collaborative, ontological and information visualization model approach in a centralized rock art heritage platform. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10, 837–846.

Hartley, R., Vawser, A.M.W., 1998. Spatial behavior and learning in the prehistoric environment of the Colorado River drainage (south-eastern Utah), western North America. In C. Chippindale and P. S. C. Taçon (dir.). *The Archaeology of Rock-Art*, 185–211.

Harvey, F., 2000. The Social Construction of Geographical Information Systems, *International Journal of Geographical Information Science* 14, 711–13.

Hoffmeister, D., Zellmann, S., Pastoors, A., Kehl, M., Cantalejo, P., Ramos, J., Weniger, G.-C., Bareth, G., 2016. The Investigation of the Ardales Cave, Spain – 3D Documentation, Topographic Analyses, and Lighting Simulations based on Terrestrial Laser Scanning. *Archaeological Prospection* 23, 75–86.

Hoffmeister, D., 2017. Simulation of tallow lamp light within the 3D model of the Ardales Cave, Spain. *Quaternary International, With the back to the art. Context of Pleistocene cave art* 430, 22–29.

- Huet, T., 2012. Organisation spatiale et sériation des gravures piquetées du mont Bego. Thèse de doctorat en archéologie. Université Nice Sophia Antipolis, 348 p.
- Huet, T., et Davtian, G. 2009. Organisation spatiale des gravures protohistoriques d'un grand site d'art rupestre : le mont Bégou. *Géomatique Expert* 66, 46–49.
- Huggett, J., 2015. A Manifesto for an Introspective Digital Archaeology. *Open Archaeology* 1(1), 86–95.
- Hung, L.Q., Dinh, N.Q., Batelaan, O., Tam, V.T., Lagrou, D., 2002. Remote sensing and GIS-based analysis of cave development in the Suoimuoi Catchment (Son La - NW Vietnam). *Journal of Cave and Karst Studies* 64, 23–33.
- Husserl, E., 1950. *Idées directrices pour une phénoménologie*. Gallimard. Paris, 567 p.
- Intxaurbe, I., Rivero, O., Alcaide, M., Arriolabengoa, M., Rios-Garaizar, J., Salazar, S., Ruiz, J., Ortega Martínez, P., Garate, D., 2020. Hidden images in Atxurra Cave (Northern Spain): A new proposal for visibility analyses of Palaeolithic rock art in subterranean environments. *Quaternary International* 566-567, 163–170.
- Intxaurbe, I., Arriolabengoa, M., Medina-Alcaide, M.Á., Rivero, O., Rios-Garaizar, J., Salazar, S., Líbano, I., Garate, D., 2021. Quantifying accessibility to Palaeolithic rock art: Methodological proposal for the study of human transit in Atxurra Cave (Northern Spain). *Journal of Archaeological Science* 125, 105271 p.
- Igarashi, J., 2003. Relations entre les représentations figuratives et les signes dans l'art pariétal magdalénien franco-cantabrique. Thèse de doctorat en archéologie. *Museum National d'Histoire naturelle*, 1013 p.
- Igarashi, J., Floss, H., 2019. Signs associated with figurative representations Aurignacian. Examples from Grotte Chauvet and the Swabian Jura. *Quaternary International, Symbolic Territories Prehistory* 503, 200–209.
- Iwahashi, J., Kamiya, I., 1995. Landform classification using digital elevation model by the skills of image processing—mainly using the Digital National Land Information. *Geoinformatics* 6, 97–108.
- Iwahashi, J., Pike, R.J., 2007. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. *Geomorphology* 86, 409–440.
- Jaillet, S., 2014. Karst, grottes et 3D. Introduction aux numéros thématiques. *Karstologia* 63, 1–2.
- Jaillet, S., Delannoy, J.-J., Génuite, K., Hobléa, F., Monney, J., 2019. L'image topographique du karst et des grottes : représentations 2D et technologies 3D, entre réalité et imaginaire. *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 25, 191–205.

- Jaillet, S., Delannoy, J.-J., Monney, J., Sadier, B., 2017. 3-D Modelling in Rock Art Research: Terrestrial Laser Scanning, Photogrammetry, and the Time Factor. In D. Bruno, J. McNiven Ian (dir.). *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*, Oxford University Press. [URL : <http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780190607357.001.0001/oxfordhb-9780190607357-e-47>].
- Jalandoni, A., Kottermair, M., 2017. Rock art as microtopography. *Geoarchaeology* 33, 579–593.
- Jalandoni, A., Taçon, P.S.C., 2018. A new recording and interpretation of the rock art of Angono, Rizal, Philippines. *Rock Art Research* 35, 47–61.
- Jaubert, J., 2008. L'« art » pariétal gravettien en France : éléments pour un bilan chronologique. *Paléo* 20, 439–474.
- Jaubert, J., Ferrier, C., Feruglio, V., Fourment, N., Bourdier, C., Konik, S., Villotte, S., 2018. La grotte de Cussac (Dordogne). Étude pluri et interdisciplinaire d'un sanctuaire orné et sépulcral d'âge gravettien. *Les nouvelles de l'archéologie* 154, 16–24.
- Jiménez-Sánchez, M., Domínguez-Cuesta, M.J., Aranburu, A., Martos, E., 2011. Quantitative indexes based on geomorphologic features: A tool for evaluating human impact on natural and cultural heritage in caves. *Journal of Cultural Heritage* 12, 270–278.
- Joliveau, T., 2004. *Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Humaines*. Université de Rouen, p. 504.
- Joliveau, T., 2010. La géographie et la géomatique au crible de la néogéographie. *Tracés. Revue de Sciences humaines* 10, 227–239.
- Joliveau, T., 2011. Le géoweb, un nouveau défi pour les bases de données géographiques. *L'Espace géographique* 40(2), 151–163.
- Joliveau, T., 2020. Une révolution numérique de la géographie ? Le cas de la géomatique. *Histoire de la recherche contemporaine. La revue du Comité pour l'histoire du CNRS* IX (1), 21–34.
- Joliveau, T., Noucher, M., Roche, S., 2013. La cartographie 2.0, vers une approche critique d'un nouveau régime cartographique. *L'Information géographique* 77(4), 29–46.
- Joliveau, T., Noucher, M., Couderchet, L., Caquard, S., 2017. Enseigner le géoweb par la pratique et la critique. Retour sur sept années de cours à distance. *Ingénierie des Systèmes d'Information* 22(5), 11–33.
- Jouteau, A., Feruglio, V., Bourdier, C., Camus, H., Ferrier, C., Santos, F. et Jaubert, J. 2019. Choosing rock art locations: Geological parameters and social behaviours. *The*

example of Cussac Cave (Dordogne, France). *Journal of Archaeological sciences* 105, 81–96.

Jonsson, E., 2010. *Inner Navigation: Why We Get Lost in the World and How We Find Our Way*. Simon and Schuster, 352 p.

Katsianis, M., Tshipidis, S., Kotsakis, K., Koussoulakou, A., 2008. A 3D digital workflow for archaeological intra-site research using GIS. *Journal of Archaeological Science* 35, 655–667.

Katsianis, M., Mavridis, F., Tankosic, Z., Tshipidis, S., 2017. A 3D spatial approach to post-excavation study, as exemplified at the Agia Triada Cave, Karystos, In Z. Tankosic, F. Mavridis, M. Kosma (dir.). *An Island Between Two Worlds: The Archaeology of Euboea from Prehistoric to Byzantine Times*. Papers and Monographs from the Norwegian Institute at Athens (6), 133–144.

Katsianis, M., Kotsakis, K., Stefanou, F., 2021. Reconfiguring the 3D excavation archive. Technological shift and data remix in the archaeological project of Paliambela Kolindros, Greece. *Journal of Archaeological Science: Reports* 36, 102857.

Karadimas, D., 2005. Chercher le centre : stratégie d'orientation spatiale chez les Miraña d'Amazonie colombienne. In A. Berthoz et R. Recht (dir.). *Les Espaces de l'homme*. Odile Jacob. Paris, 67–92.

Kemmis, S., McTaggart, R., 1988. *The Action Research Planner*. Deakin University Press. Victoria, 154 p.

Koehl, M., Lott, C., 2008. De la maquette 3D au SIG 3D pour la gestion du patrimoine archéologique. *Géomatique expert* 64, 26–35.

Koehler, A., Tuffery, C., 2012. Harmonisation des méthodes et outils pour l'information archéologique à l'Inrap : constats, enjeux et perspectives pour un établissement national. *Archeologia e Calcolatori* 229, 229–238.

Labarge, A., 2012. Synthèse des nouvelles découvertes d'art pariétal et mobilier des grottes d'Isturitz et Oxocelhaya : 1996/2009. In J. Clottes (dir.). *L'art pléistocène dans le monde, Actes du Congrès IFRAO, Tarascon-sur-Ariège, septembre 2010, Symposium « Art pléistocène en Europe »*. Numéro spécial de *Préhistoire, Art et Sociétés*. Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées, 179–192.

Lacombe, S., 1996. Marsoulas: grotte des Fées. Bilan Scientifique 1995. DRAC Midi-Pyrénées. Service Régional de l'Archéologie. Toulouse, 81–82.

Lacanette, D., Malaurent, P., 2010. La 3D au service de la conservation des grottes ornées, l'exemple de Lascaux et du simulateur Lascaux. In *Situ*. *Revue des patrimoines*. [URL : <http://journals.openedition.org/insitu/6793>].

- Lamine, W., Fayolle, A., Chebbi, H., 2014. Quel apport de la théorie de l'acteur-réseau pour appréhender la dynamique de construction du réseau entrepreneurial ? *Management international* 19, 158–176.
- Landeschi, G., 2018a. Rethinking GIS, three-dimensionality and space perception in archaeology. *World Archaeology* 0, 1–16.
- Landeschi, G., Apel, J., Lundström, V., Storå, J., Lindgren, S., Dell'Unto, N., 2018b. Re-enacting the sequence : Combined digital methods to study a prehistoric cave. *Archaeological and Anthropological Sciences* 11, 2805–2819.
- Landeschi, G., Dell'Unto, N., Lundqvist, K., Ferdani, D., Campanaro, D.M., Leander Touati, A.-M., 2016. 3D-GIS as a platform for visual analysis: Investigating a Pompeian house. *Journal of Archaeological Science* 65, 103–113.
- Laming-Empeaire, A., 1962. *La signification de l'art rupestre paléolithique : méthodes et applications*, 424 p.
- Laaribi, A., 2000. *SIG et analyse multicritère*. Hermès. Science Publications. Paris, 190 p.
- Latour, B., 1992. *Aramis ou l'amour des techniques*. La Découverte. Paris, 241 p.
- Lavigne Delville, P., 2015. Un projet de développement qui n'aurait jamais dû réussir ? La réhabilitation des polders de Prey Nup (Cambodge). *Anthropologie & développement* 42-43, 59–84.
- Ledoux, L., Fourment, N., Maksud, F., Delluc, M., Costamagno, S., Goutas, N., Klaric, L., Laroulandie, V., Salomon, H., Jaubert, J., 2017. Traces of human and animal activity (TrAcs) in Cussac Cave (Le Buisson-de-Cadouin, Dordogne, France): Preliminary results and perspectives. With the back to the art. *Context of Pleistocene cave art. Quaternary International* 430, 141–154.
- Lejeune, M., 1981. *L'utilisation des accidents naturels dans le tracé des figurations pariétales du Paléolithique supérieur franco-cantabrique*. Mémoire de fin d'étude, Université de Liège.
- Lejeune, M., 1985. La paroi des grottes, premier « mur » support artistique et document archéologique. *Art & Fact* 4. Liège, 15–24.
- Lejeune, M., 2004. Quelques réflexions sur le rôle de la paroi rocheuse dans l'art du Paléolithique supérieur. In M. Lejeune (dir.). *L'art pariétal paléolithique dans son contexte naturel*. Actes du colloque 8.2, Congrès de l'U.I.S.P.P.. Liège, 2-8 septembre 2001. *ERAUL* 107, 15–19.
- Le Guillou, Y., 2005. Circulations humaines et occupation de l'espace souterrain à la grotte Chauvet-Pont-d'Arc. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 117–134.

- Llobera, M., 2011. Archaeological Visualization: Towards an Archaeological Information Science (AISC). *Journal of Archaeological Method and Theory* 18, 193–223.
- Llobera, M., 2012. Life on a Pixel: Challenges in the Development of Digital Methods Within an “Interpretive” Landscape Archaeology Framework. *Journal of Archaeological Method and Theory* 19, 495–509.
- Lemozi, A., 1929. *La grotte-temple du Pech-merle*. Picard. Paris, 184 p.
- Leroi-Gourhan, A., 1950. *Les fouilles préhistoriques. Technique et méthodes*. Picard. Paris, 88 p.
- Leroi-Gourhan, A., 1958a. La fonction des signes dans les sanctuaires paléolithiques. *Bulletin de la Société préhistorique française* 55, 307–321.
- Leroi-Gourhan, A., 1958b. Le symbolisme des grands signes dans l’art pariétal paléolithique. *Bulletin de la Société préhistorique française* 55, 384–398.
- Leroi-Gourhan, A., 1958c. Répartition et groupement des animaux dans l’art pariétal paléolithique. *Bulletin de la Société préhistorique française* 55, 515–528.
- Leroi-Gourhan, A. 1965a. *Préhistoire de l’art occidental*. Mazenod. Paris, 482 p.
- Leroi-Gourhan, A. 1965b. *La mémoire et les rythmes. Le geste et la parole II*. Albin Michel. Paris, 285 p.
- Leroi-Gourhan, A., 1966. Réflexions de méthode sur l’art paléolithique. *Bulletin de la Société préhistorique française. Études et travaux* 63, 35–49.
- Leroi-Gourhan, A., 1971. *Marsoulas, Préhistoire de l’Art Occidental*. Mazenod. Paris, 300–301.
- Leroi-Gourhan A., Brezillon M., 1972. *Fouilles de Pincevent. Essai d’analyse ethnographique d’un habitat magdalénien (la section 36)*. Supplément Gallia Préhistoire 8. CNRS édition. Paris, 334 p.
- Leroi-Gourhan, A., et Allain J., 1979. *Le Passage et l’Abside*. In A. Leroi-Gourhan, (dir.). *Lascaux inconnu*. Gallia Préhistoire. Supplément 12, 190–300.
- Leroi-Gourhan, A., 1988. *Dictionnaire de la préhistoire*. Presses Universitaires de Paris, 1222 p.
- Leroi-Gourhan, A., 1992. *L’art pariétal: langage de la préhistoire*. Jérôme Million. Grenoble, 420 p.
- Le Quellec, J.-L., 2007. Perceptions et attentes dans les études d’art rupestre. *Les Cahiers de l’AARS*, 113–124.
- Le Quellec, J.-L., 2014. Une chrono-stratigraphie des mythes de création. *Eurasie* 23, 51–72.

- Lock, G.R., Stancic, G., 1995. *Archaeology and Geographic Information Systems: A European Perspective*. Lock, G. R., Stancic, G. London. Bristol, 319 p.
- Lock, G.R., Pouncett, J., 2017. Spatial thinking in archaeology: Is GIS the answer? *Journal of Archaeological Science, Archaeological GIS Today: Persistent Challenges. Pushing Old Boundaries, and Exploring New Horizons* 84, 129–135.
- Loubser, J.H. 1997. Utilisation des Diagrammes de Harris dans l'enregistrement, la conservation, et l'interprétation des peintures rupestres / The use of Harris Diagrams in recording, conserving, and interpreting rock paintings. *INORA* 18, 14–21.
- Louman, L., 2017. Du géomarketing à la géomatique, la carte interactive comme une proposition interactionnelle à une organisation. Mémoire de master 2. Université de Cergy-Pontoise, p. 142.
- Louman, L., Fritz, C., Desponds, D., Pinçon, G., 2020. Le géoweb et la cartographie collaborative au service de l'étude de la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche). *Technè. La science au service de l'histoire de l'art et de la préservation des biens culturels*, 48–57.
- Loup, B., 2020. ArkeoGIS, partager les données des professionnels en archéologie. *Culture et Recherche* 140, 93–94.
- Lorblanchet, M., Delpech, F., Renault, P., Andrieux, C., 1973. La grotte de Sainte-Eulalie à Espagnac (Lot). *Gallia préhistoire* 16, 3–62.
- Lorblanchet, M., 1984. Les relevés d'art préhistoriques. In A. Leroi-Gourhan (dir.). *L'art des cavernes : atlas des grottes ornées paléolithiques françaises*, 41–51.
- Lorblanchet, M., 1990. Les techniques des artistes paléolithiques. *Chroniques des années de pierre... Art préhistoriques-Sciences et Techniques modernes*. Césura-Lyon Editions, 25–34.
- Lorblanchet, M., 1995. Les grottes ornées de la préhistoire: nouveaux regards. *Errance*, 298 p.
- Lorblanchet, M., 1993a. Finalité du relevé. L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris, 329–337.
- Lorblanchet, M., 1993b. Les tracés indéterminés. L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques, Paris, 235–241.
- Lorblanchet, M., 1994. Le mode d'utilisation des sanctuaires Paléolithiques. *Museo y Centro de Investigacion de Altamira. Monografias* 17, 235–251.
- Lorblanchet, M., 1995. Les grottes ornées de la préhistoire : nouveaux regards. *Errance*, 298 p.

- Lorblanchet, M., 1999. La naissance de l'art. Genèse de l'art préhistorique. Errance, Paris, 304 p.
- Lorblanchet, M., 2001. La grotte ornée de Pergouset (Saint-Géry, Lot) : un sanctuaire secret paléolithique. Documents d'archéologie Française 85. Editions Maison des Sciences de l'Homme. Paris, 188 p.
- Lorblanchet, M., 2003. Des griffades aux tracées pariétaux. Préhistoire Du Sud-Ouest 10, 157–175.
- Lorblanchet, M., 2010. Art pariétal: grottes ornées du Quercy. Edition du Rouergue. Rodez. 445 p.
- Lorblanchet, M., 2016. Marques et traces rituelles dans les grottes ornées du Quercy. Préhistoire du Sud-Ouest 24(1), 14–17.
- Lorblanchet, M., 2020. Naissance de la vie: une lecture de l'art pariétal. Éditions du Rouergue. Arles, 171 p.
- Lussault, M., 2003. L'espace avec les images, In B. Debarbieux et S. Lardon (dir.). Les figures du projet territorial, La Tour d'Aigues. Éditions de l'Aube – DATAR.
- Lymer, K., 2015. Image processing and visualisation of rock art laser scans from Loups's Hill, County Durham. Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 2, 155–165.
- M'hamdi, M., 2011. L'étude de la répartition spatiale des objets archéologiques, Étude de cas : la Grotte du Lazaret. Géomatique Expert 82, 36–42.
- M'hamdi, M., 2012. Chasseurs-cueilleurs acheuléens de la grotte du Lazaret UA 26, Nice, Alpes Maritimes : approche comportementale & analyse spatiale. Thèse de doctorat en archéologie, Université de Nice,
- Martí, A.P., Zilhão, J., Errico, F. d', Cantalejo-Duarte, P., Domínguez-Bella, S., Fullola, J.M., Weniger, G.C., Ramos-Muñoz, J., 2021. The symbolic role of the underground world among Middle Paleolithic Neanderthals. Proceedings of the National Academy of Sciences 118 (33), e2021495118 p.
- Maksud, F., Gély, B., 2005. Ouverture d'un sondage dans la zone d'entrée. Travaux 2004-2005 », In J.-M. Geneste (dir.). Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) : rapport d'activité 2004-2005. Lyon : ministère de la Culture (SRA Rhône-Alpes), 77–85.
- Martin, Y., 1998. L'ornementation pariétale paléolithique de la grotte du Renard à Orvial. In De la Préhistoire, découvertes récentes et anciennes du Paléolithique au Néolithique dans la région de Louviers. Catalogue d'exposition, 24–29.
- Maslov Jayet de Gercourt, N., 2015. Approche multicritère pour la recherche de site et l'optimisation de technologies d'énergies marines renouvelables. Thèse de doctorat en géographie. Université de Bretagne occidentale Brest, 141 p.

Mazzilli, I., 2011. Construire la GRH territoriale : une approche par les dispositifs de gestion et la théorie de l'acteur-réseau. Thèse de doctorat en gestion et management. Université de Grenoble, 480 p.

McDonald, J., Catacora, A., De Koning, S., Middleton, E., 2016. Digital technologies and quantitative approaches to recording rock art in the Great Basin, USA. *Journal of Archaeological Science Reports* 10, 917–930.

Medina-Alcaide, M.Á., Garate Maidagan, D., Sanchidrián Torti, J.L., 2016. Painted in red, search of alternative explanations for European Palaeolithic cave art. *Quaternary International* 491, 65–77.

Medina-Alcaide, M.Á., Garate-Maidagan, D., Ruiz-Redondo, A., Sanchidrián-Torti, J.L., 2018. Beyond art: The internal archaeological context in Paleolithic decorated caves. *Journal of Anthropological Archaeology* 49, 114–128.

Medina-Alcaide, M.Á., Intxaurbe Alberdi, I., Salazar, S., Torres Riesgo, A., Garate, D., Rivero, O., Sanchidrián Torti, J., Cosano, S., Granados, A., Ruiz-Márquez, R., 2020. “Los Márquez” cave: an unknown rock art site in Andalusia 86, 14–17.

Mericskay, B., 2011. Les Sig et la cartographie à l'ère du géoweb. *L'Espace géographique* 40, 142–153.

Mericskay, B., Roche, S., 2011. Cartographie 2.0 : le grand public, producteur de contenus et de savoirs géographiques avec le web 2.0. *Cybergeog : European Journal of Geography*. [URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/24710>].

Méroc, L., Michaut, L., Ollé, M., 1948. La Grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). *Bulletin de la Société Méridionale de Spéléologie et de Préhistoire* I, 284–320.

Milton, S., Pliakas, T., Hawkesworth, S., Nanchahal, K., Grundy, C., Amuzu, A., Casas, J.-P., Lock, K., 2015. A qualitative geographical information systems approach to explore how older people over 70 years interact with and define their neighbourhood environment. *Health and Place* 36, 127–133.

Monney, J., 2009. Les marques charbonneuses de la Grotte Chauvet. In J.-M. Geneste (dir.). *PCR Études pluridisciplinaires à la grotte Chauvet-Pont d'Arc (Ardèche) : rapport d'activité triennal 2007-2009*, Lyon : ministère de la Culture (SRA Rhône-Alpes), 785–953.

Monney, J., Baracchini, L., Lateur, N., Stocchetti, S., 2010. La grotte des Deux-Ouvertures : le regard et la mémoire : perception d'une grotte ornée paléolithique à la sortie des gorges de l'Ardèche. *Ardèche Archéologie* 27, 3–12.

Moyes, H., 2001. The cave as a cosmogram: the use of GIS in an intrasite spatial analysis of the main chamber of Actun Tunichil Muknal. A maya ceremonial cave in Western Belize. Master's thesis of Anthropology. Florida Atlantic University, 227 p.

Moyes, H., 2002. The use of GIS in the spatial analysis of an archaeological cave site. *Journal of Cave and Karst Studies* 64(1), 9–16.

- Moyes, H., Montgomery, S., 2016. Mapping Ritual Landscapes, Using Lidar Cave Detection through Local Relief Modeling , *Advances in Archaeological Practice. Journal of the Society for American Archaeology* 4, 249–267.
- Niskanen, K., 2018. Multi-scale spatial analysis of Neolithic pictographs at Astuvansalmi, Finland. *SI: Role of art in prehistory-UISPP 2014. Quaternary International* 491, 146–158.
- Niskanen, K., 2019. Prehistoric pictographs of Finland: Symbolism and territoriality. *Quaternary International* 503, 273–284.
- Ngandali, Y., 2014. Contact Period Rock Art: A GIS Analysis of Social and Spatial Interactions of Aboriginal Peoples and European Explorers in Western Arnhem Land Northern Territory Australia. *Journal of Undergraduate Research* 17, 1–35.
- Noucher, M., 2009. La donnée géographique aux frontières des organisations : approche socio-cognitive et systémique de son appropriation. Thèse de doctorat en géographie. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 225 p.
- Noucher, M., 2010. La donnée géographique aux frontières des organisations : approche sociocognitive et systémique de son appropriation. *Carnets de géographes*. [URL : <http://journals.openedition.org/cdg/2203>].
- Noucher, M., Mericskay, B., Feyt, G., 2018. Usages collaboratifs de l'information géographique. *Revue Internationale de Géomatique* 28, 150 p.
- Ochoa, B., García-Diez, M., 2018. The use of cave art through graphic space. Visibility and cave transit: A new methodology. *Journal of Anthropological Archaeology* 49, 129–145.
- Opitz, R. and Nowlin, J. 2012. Photogrammetric modeling + GIS: Better methods for working with mesh data. [URL : <http://www.esri.com/news/arcuser/0312/photogrammetric-modeling-plus-gis.html>]
- Orillard, C., 2014. Kevin Lynch et l'innovation dans les systèmes de visualisation urbaine. *Communication langages* 180, 63–77.
- Paegelow, M., 2004. Géomatique et géographie de l'environnement. De l'analyse spatiale à la modélisation prospective. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches en Géographie. Université Toulouse le Mirail - Toulouse II, 212 p.
- Pales, L., St-Pereuse M., 1969. Les gravures de la marche mémoire 7(1). « Félines et l'ours ». Publication de l'Institut de Préhistoire de l'Université de Bordeaux. Delmas. Bordeaux, 133 p.
- Paterson, A., Wilson, A. 2009. Indigenous perceptions of contact at Inthanoona, Northwest Western Australia. *Archaeology in Oceania* 44. Supplement, 99–111.
- Paramythioti, M., 1996. Grotte Cosquer : relevé intérieur par le capteur soisic. *Revue XYZ* 66, 24–27.

- Pastors, A., Weniger, G.-C., 2011. Cave Art in Context: Methods for the Analysis of the Spatial Organization of Cave Sites. *Journal of Archaeological Research* 19, 377–400.
- Pearce, D., 2006. A comment on Swart's rock art sequences and use of the Harris Matrix in the Drakensberg: notes and comments. *Southern African Humanities* 18, 173–188.
- Pearce, D., 2010. The Harris Matrix technique in the construction of relative chronologies of rock paintings in South Africa. *The South African Archaeological Bulletin* 65, 192–148.
- Peyroux, M., 2012. Les dépôts d'objets pariétaux des grottes ornées au Paléolithique supérieur : gestes, comportements symboliques, cultures. Thèse de doctorat en archéologie. Université de Bordeaux 1, 1474 p.
- Philippe, M., Fosse, P., 2003. La faune de la grotte Chauvet (Vallon-Pont-d'Arc, Ardeche) : présentation préliminaire paléontologique et taphonomique. *Paleo* 15, 123–140.
- Philippe, M., Fosse, P., 2015. Une remarquable grotte à ours des cavernes. In J. Clottes J., J.-M. Geneste (dir.). *La grotte Chauvet et la caverne du Pont d'Arc. Dossiers d'archéologie. Hors-série 28 de la revue*, 54–59.
- Pigeaud, R., 2001. Les représentations de la grotte ornée Mayenne-Sciences (Thorigné-en-Charnie, Mayenne) dans leur cadre archéologique et régional. Thèse de doctorat en archéologie. Muséum national d'Histoire naturelle, 195 p.
- Pigeaud, R., Bouchard, M., Laval, É., 2004. La grotte ornée Mayenne-Sciences (Thorigné-en-Charnie, Mayenne) : un exemple d'art pariétal d'époque gravettienne en France septentrionale. *Gallia Préhistoire. CNRS éditions* 46, 154p.
- Pigeaud, R., 2005. Un art de traces ? Spontanéités et préméditations sur les parois des grottes ornées paléolithiques. In D. Vialou, J. Renault-Miskovsky, M. Patou-Mathis (dir.). *Comportements des hommes du Paléolithique moyen et supérieur en Europe. ERAUL. Université de Liège*, 177–190.
- Pigeaud, R., 2007. Les cavernes vagabondes : mobilité des thèmes, mobilité des styles. In M. Lejeune (dir.). *Quelques réflexions sur le rôle de la paroi rocheuse dans l'art du Paléolithique supérieur. L'art pariétal paléolithique dans son contexte naturel, Actes du colloque 8.2, Congrès de l'U.I.S.P.P. Liège, 2-8 septembre 2001, ERAUL 107*, 15–19.
- Pigeaud, R., Berrouet, F., Bougard, E., 2018. Les constructions symboliques : l'art préhistorique comme support de communication. In O. Buchsenschutz, C. Jeunesse, C. Mordant, D. Vialou (dir.). *Signes et Communication Dans Les Civilisations sans Paroles, Actes Des Congrès Nationaux Des Sociétés Historiques et Scientifiques. Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques. Paris*, 54–69.

- Pinçon, G., 2007. A la recherche du cheminement d'idées : essai sur les représentations féminines du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne). In Arts et cultures de la préhistoire. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Documents préhistoriques 24, 55–63.
- Pinçon, G., 2008a. Chronologie pariétale des œuvres magdaléniennes du Roc-aux-Sorciers (Angles-sur-l'Anglin, Vienne) : entre tradition et innovation. In Situ. Revue des patrimoines. [URL : <https://journals.openedition.org/insitu/3292>].
- Pinçon, G., 2008b. Numériser le territoire. L'Atlas du patrimoine sur Culture.fr. Culture et Recherche 118-119, 34–35.
- Pinçon, G., 2009. Le contexte archéologique des œuvres. In G. PINÇON (dir.). Angles-sur-l'Anglin, le Roc-aux-Sorciers : art et parure du Magdalénien, catalogue numérique des collections. [URL : <https://www.catalogue-roc-aux-sorciers.fr>].
- Pinçon, G., Bourdier, C., Abgrall, A., Hamon, G., Fuentes, O., 2014. Applications des technologies 3D à la sculpture pariétale magdalénienne : lectures d'une iconographie reprise, mais toujours renouvelée de deux abris sculptés du Magdalénien moyen grâce à l'usage de bibliothèques de formes 3D. In P. Paillet (dir.). Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation, Actes du colloque Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique (MADAPCA) (Paris, 16-18 nov., 2011). Paléo. Numéro spécial, 85–92.
- Plénier, A., 1971. L'art de la grotte de Marsoulas. Mémoires de l'Institut d'art préhistorique. Toulouse I, 296 p.
- Plénier, A., 1984. Grotte de Marsoulas. L'Art des Cavernes. Atlas des Grottes ornées paléolithiques françaises. Imprimerie Nationale. Paris, 446–450.
- Plénier, A., Rouch, P., 1980. Nouvelles découvertes dans la Grotte de Marsoulas. Travaux de l'Institut d'Art Préhistorique 22. Université de Toulouse-le-Mirail, 405–416.
- Platt, J., 1983. The Development of the « Participant Observation » Method. Sociology: Origin Myth and History. Journal of the History of the Behavioral Sciences 19, 379–393.
- Ployon, E., Monney, J., Boche, E., Delannoy, J.-J., Jaillet, S., et al. 2020. Le SIG Atlas Chauvet. In J.-J. Delannoy, J.-M. Geneste (dir.). Atlas de la Grotte Chauvet-Pont d'Arc. Editions de la Maison des Sciences de l'Homme. Documents de l'archéologie française, 85–96.
- Polig, M., 2017. 3D GIS for Building Archaeology. Combining Old and New Data in a Three-dimensional Information System in the Case Study of Lund Cathedral. Studies in Digital Heritage 1(2), 225–238.
- Poirier, N., Hautefeuille, F., Luiza Rezende, Ladeia A., Hautefeuille, E., 2019. Archeotracker. Les Nouvelles de l'archéologie 155, 5–11.

- Pornon, H., 1993. Utilisation et place des SIG dans les SI des organisations. *Revue de géomatique* 3(2), 15–25.
- Pornon, H., 1998. Systèmes d'information géographique, pouvoir et organisations : géomatique et stratégies d'acteurs. L'Harmattan. Paris, 233 p.
- Pornon, H., 2006. Le SIG, un outil transversal ? Mythes et réalités. *Géo-événement 2006*, 8 p.
- Pornon, H., Noucher, M., 2007. Bilan et perspectives de 20 années de géomatique, vers des SIG plus collaboratifs, les communautés de pratiques. *Géomatique expert* 59, 54–60.
- Prinz, T., Walter, S., Wieghardt, A., Karberg, T., Schreiber, T., 2014. GeoArchaeology Web 2.0: geospatial information services facilitate new concepts of webbased data visualization strategies in archaeology – Two case studies from surveys in Sudan (Wadi) and Turkey (Doliche). *Archaeological Discovery* 2, 91–106.
- Quiles, A., Valladas, H., Geneste, J.-M., Clottes, J., Baffier, D., Berthier, B., Brock F., Bronk Ramsey, C., Delqué-Kolic, E., Dumoulin, J.-P., Hajdas, I., Hippe K., Hodgins, G. W. L., Hogg, A. G., Jull A. J. T., Kaltnecker, É., Martino, M. de, Oberlin, C., Petchey, F., Steier, P., Synal, H.-A., Van der Plicht, J., Wild, E. M., Zazzo A., 2014. Second radiocarbon intercomparison program for the Chauvet-Pont d'Arc cave, Ardèche, France. *Radiocarbon* 56 (2), 833–850.
- Quiles, A., Valladas, H., Bocherens, H., Delqué-Količ, E., Kaltnecker, E., Plicht, J. van der, Delannoy, J.-J., Feruglio, V., Fritz, C., Monney, J., Philippe, M., Tosello, G., Clottes, J., Geneste, J.-M., 2016. A high-precision chronological model for the decorated Upper Paleolithic cave of Chauvet-Pont d'Arc, Ardèche, France. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113, 4670–4675.
- Raphaël, M., 1946. Prehistoric cave paintings. Pantheon Books. New York, 100 p.
- Raphaël, M., Schaefer, C., 1974. Sur la méthode d'interprétation de l'art paléolithique. *Raison présente* 32, 35–63.
- Raphaël, M., 1986. Trois essais sur la signification et l'art pariétal paléolithique. *Kronos*. France, 228 p.
- Reitsma, F., 2013. Revisiting the “is GIScience a science?” Debate (or quite possibly scientific gerrymandering). *International Journal of Geographical Information Science* 27, 211–221.
- Reinach S., 1903. L'art et la magie. A propos des peintures et des gravures de l'âge du Renne. *L'Anthropologie* 14. Paris, 257–266.
- Reinach S., 1912. Le bâton de Teyjat et les Ratapas, Cultes mythes et religions 4, 361–368.

- Régnauld, F., 1897. Peintures de Marsoulas. Bulletin de la Société Archéologique du Midi de la France, séance du 18 Mai 1897, 127–128.
- Régnauld, F., 1902. La Grotte de Marsoulas. Congrès de l'A.F.A.S. Montauban I, 245–246.
- Régnauld, F., 1903. Peintures et gravures de la Grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Bulletin archéologique du Comité des Travaux historiques et scientifiques, 209–211.
- Régnauld, F., 1905a. La Caverne de Marsoulas (Haute-Garonne). Congrès de l'A.F.A.S., 34^e session, Cherbourg II, 644–645.
- Régnauld, F., 1905b. Grotte de Marsoulas (Haute-Garonne). Nouvelles fouilles. Bulletin de la Société Archéologique du Midi de la France. 28 février, 282–286.
- Rey-Valette, H., Maurel, P., Jabbour, C., Cousin, C., Luque, S., Billaud, O., Salles, J.M., 2020. Apport de l'information géospatiale dans les décisions d'aménagement du territoire. Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie. [URL : <http://journals.openedition.org/developpementdurable/17778>].
- Richards-Rissetto, H., 2017. What can GIS + 3D mean for landscape archaeology? Journal of Archaeological Science 84, 10–21.
- Rigaud, J.-P., Cleyet-Merle, J.-J., 2011. Norbert Aujoulat (1946-2011). Paléo 22. Revue d'archéologie préhistorique, 9–13.
- Rivière, É., 1901. Les dessins gravés de la grotte de La Mouthe (Dordogne). Bulletins de la Société d'anthropologie de Paris 5(2), 509–517.
- Rivero, O., Ruiz-López, J.F., Intxaurbe, I., Salazar, S., Garate, D., 2019. On the limits of 3D capture: A new method to approach the photogrammetric recording of palaeolithic thin incised engravings in Atxurra Cave (northern Spain). Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage 14, [URL : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2212054819300049>].
- Russell, J-T., 1932. Report on archaeological research in the foothills of the Pyrénées. Smithsonian miscellaneous collections 87(11), 1–5.
- Russell, T., 2000. The Application of the Harris Matrix to San Rock Art at Main Caves North. Kwazulu-Natal. The South African Archaeological Bulletin 55, 60–70.
- Russell, T., 2012. The position of rock art: a consideration of how GIS can contribute to our understanding of the age and authorship of rock art. Working with Rock Art: Recording, Presenting and Understanding Rock Art Using Pearce Indigenous Knowledge, Wits University Press: Johannesburg (Rock Art Research Institute Monograph) 4, 36–45.
- Roche, S., Mericskay, B., Batita, W., Bach, M., Rondeau, M., 2012. WikiGIS Basic Concepts: Web 2.0 for Geospatial Collaboration. Future Internet 4, 265–284.

Robert, É., 2006. Les signes et leurs supports pariétaux. : Analyse comparée des rapports entre les représentations abstraites et les reliefs naturels dans les grottes ornées du Paléolithique supérieur au sein de l'espace franco-cantabrique. Thèse de doctorat en archéologie. Université de Paris 1 - Panthéon Sorbonne, 504 p.

Robert, É., 2007. L'utilisation des reliefs pariétaux dans la réalisation des signes au Paléolithique supérieur. *L'Anthropologie* 111, 467–500.

Robert, É., 2014. La photogrammétrie à haute résolution en grotte ornée : numérisation des gravures de Rouffignac et Blanchard. In P. Paillet (dir.). *Les arts de la Préhistoire : micro-analyses, mises en contextes et conservation*, Actes du colloque Micro-analyses et datations de l'art préhistorique dans son contexte archéologique (MADAPCA) (Paris, 16-18 nov., 2011). *Paléo. Numéro spécial*, 93–101.

Robert, É., Petrognani, S., Lesvignes, E., 2016. Applications of digital photography in the study of Paleolithic cave art. *Journal of Archaeological Science: Reports* 10, 847–858.

Robert, É., 2017. The role of the cave in the expression of prehistoric societies. *Quaternary International, The Chronology of Palaeolithic Cave art: new data, new debates* 432, 59–65.

Rodier, X., Barge, O., Saligny, L., Nuninger, L., Bertoncello, F., 2011. *Information spatiale et archéologie. Errance*. Paris, 255 p.

Rodier, X., 2016. *Espace-temps des sociétés du passé. Mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches*, Université de Tours, 155 p.

Rosenthal, V., Visetti, Y.-M., 2003. *Köhler*. Les Belles Lettres. Paris, 284 p.

Rouet, P., 1992. Les difficultés de mise en œuvre des systèmes d'information urbains à caractère géographique, *Revue des Sciences de l'Information Géographique et de l'Analyse Spatiale* 2(2), 173–185.

Rouzaud, F., 1978. *La Paléoespéléologie. L'homme et le milieu souterrain pyrénéen au Paléolithique Supérieur*. Archives d'Ecologie Préhistorique 3. CNRS et départements de la Haute-Garonne et de l'Ariège. Toulouse, 168 p.

Rouzaud, F., 1993. *La topographie interne : relevé topographique. L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude*. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 39–48.

Rouzaud, F., 1996. *La Paleóspéléologie. Une méthode d'étude des grottes préhistoriques et paléontologiques*. In H. Delporte et J. Clottes (dir.). *Pyrénées préhistoriques : arts et sociétés : actes du 118e Congrès National des sociétés historiques et scientifiques*, (Pau, 1993). Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 143–148.

Rouzaud, F., 1997. *La paléoespéléologie ou l'approche globale des documents anthropiques et paléontologiques conservés dans le karst profond*. *Quaternaire* 8 (2-3), 257–265.

- Rorive, B., 2003. e-projets : la conduite du changement par la traduction. Lentic, Université de Liège. Liège, 36 p.
- Sadier, B., Benedetti, L., Delannoy, J.-J., Bourlès, D., Jaillet, S., Arnaud, J., Jarry, B., Vermorel, G., Geneste, J.-M., 2012. Datations 36Cl de la fermeture de la grotte Chauvet, implications géomorphologiques et archéologiques. Collection EDYTEM. Cahiers de géographie 13, 63–78.
- Sadier, B., 2013. 3D et géomorphologie karstique : La grotte Chauvet et les cavités des Gorges de l'Ardèche. Thèse de doctorat en géographie. Université de Grenoble, 478 p.
- Salmon, F., 2019. Simulation aéro-thermo-mécanique des effets du feu sur les parois d'un milieu confiné : application à l'étude des thermo-altérations de la grotte Chauvet-Pont d'Arc. Thèse de doctorat en mécanique. Université de Bordeaux, 304 p.
- Sanchidrián-Torti, J.L., 1990. El arte paleolítico en Andalucía. Corpus y analisis estilístico y secuencial. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga, Málaga.
- Sanchidrián-Torti, J.L., Medina-Alcaide, M.Á., 2018. La grotte de Nerja aujourd'hui. Synthèse des derniers travaux de recherche dans les zones ornées. Les nouvelles de l'archéologie 154, 33–38.
- Sanchez, M., Foyo, A., Tomillo, C., Iriarte, E., 2007. Geological risk assessment of the area surrounding Altamira Cave: A proposed Natural Risk Index and Safety Factor for protection of prehistoric caves. Engineering Geology 94, 180–200.
- Sauvet, G., Sauvet, S., Wlodarczyk, A., 1977. Essai de sémiologie préhistorique (Pour une théorie des premiers signes graphiques de l'homme). Bulletin de la Société préhistorique française 74, 545–558.
- Sauvet, G., 1988. La communication graphique paléolithique (De l'analyse quantitative d'un corpus de données à son interprétation sémiologique). L'Anthropologie 92, 3–16.
- Sauvet, G., Wlodarczyk, A., 1992. Structural Interpretation of Statistical Data from European Palaeolithic Cave Art. In Ancient Images, Ancient Thought, 223–234.
- Sauvet, G., 1993. La composition et l'espace orné. In *L'art pariétal paléolithique, techniques et méthodes d'étude*. Édition du comité des Travaux Historiques et Scientifiques. Paris, 297–309.
- Sauvet, G., 1994. Rhétorique de l'image préhistorique. In A. Fine, R. Perron et F. Sacco (dir.). Préhistoire et Psychanalyse. P.U.F., 83–115.
- Sauvet, G., Wlodarczyk, A., 1995. Eléments d'une grammaire formelle de l'art pariétal paléolithique. L'Anthropologie 99, 2–3.

- Sauvet, G., Tosello, G. 1998. Le mythe paléolithique de la caverne. In F. Sacco et G. Sauvet (dir.). *Le propre de l'Homme, psychanalyse et préhistoire*. Delachaux et Niestlé. Lausanne, 55–90.
- Sauvet, G., 2004. Langage préhistorique, langages de préhistoriens. In F. Audouze et N. Schlanger (dir). *Autour de l'homme : contexte et actualité d'André Leroi-Gourhan*. APDCA. Sophia-Antipolis, 249–270.
- Sauvet, G., Fritz, C., Tosello, G., 2007. Emergence et expansion de l'art aurignacien. *Bulletin de la Société Préhistorique Ariège-Pyrénées* 63, 33–46.
- Sauvet, G., Bourrillon, R., Garate, D., Petrognani, S., Rivero, O., Robert, E., Tosello, G., 2018. The function of graphic signs in prehistoric societies: The case of Cantabrian quadrilateral signs. *Quaternary International* 491, 99–109.
- Sauvet, G., 2019. The hierarchy of animals in the Paleolithic iconography. *Journal of Archaeological Science Reports* 28, 102025.
- Sebeok, T., Sebeok, J.U., 1981. You know my method: A juxtaposition of Charles S. Peirce and Sherlock Holmes. In T. Sebeok (dir.). *The play of musement*, Bloomington: Indiana University Press, 17–52.
- Simonnet, R., 1981. Carte des gîtes à silex des Pré-Pyrénées. *La Préhistoire du Quercy dans le contexte de Midi-Pyrénées*. Paris, 308–323.
- Sjoerd, van Riel., 2016. Exploring the use of 3D GIS as an analytical tool in archaeological excavation practice. M.A. Thesis in Archaeology, 77 p.
- Sire, G., 2017. *Sic et Théorie de l'acteur réseau : point de vue communicationnel, cadrage interdisciplinaire*. Questions de communication. Presses Universitaires de Nancy, 26 p.
- Stal, C., Van Liefferinge, K., De Reu, J., Docter, R., Dierkens, G., De Maeyer, P., Mortier, S., Nuttens, T., Pieters, T., Eijnde, F. van den, Put, W. van de, De Wulf, A., 2014. Integrating geomatics in archaeological research at the site of Thorikos (Greece). *Journal of Archaeological Science* 45, 112–125.
- Star, S.L., Griesemer, J.R., 1989. Institutional Ecology, “Translations” and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkeley’s Museum of Vertebrate Zoology, 1907-39. *Social Studies of Science* 19, 387–420.
- Soulier, P., 2018. *André Leroi-Gourhan (1911-1986) : une vie, Le passé recomposé*. CNRS éditions. Paris, 350 p.
- Soulé, B., 2007. Observation participante ou participation observante ? Usages et justifications de la notion de participation observante en sciences sociales. *Recherches qualitatives* 27(1), 127–140.
- Swart, J., 2004. Rock art sequences in uKhahlamba-Drakensberg Park, South Africa. *Southern African Humanities* 16, 13–35.

- Swart, J., 2006. Harassing the Matrix: a reply to Pearce. *Southern African Humanities* 18, 178–183.
- Taborin, Y., 2005. Les grandes étapes de la difficile étude de l'art paléolithique. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 829–834.
- Tilley, C., 1997. *A Phenomenology of Landscape: Places, Paths and Monuments*. Berg Publishers, 224 p.
- Tilley, C., Bennett, W., 2001. An Archaeology of Supernatural Places: The Case of West Penwith. *Journal of the Royal Anthropological Institute* 7, 335–362.
- Théry-Parisot I., Thiébault S., 2005. Le pin (*Pinus sylvestris*) : préférence d'un taxon ou contrainte de l'environnement ? Étude des charbons de bois de la Grotte Chauvet. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102, 69–75.
- Théry-Parisot I., Thiébault S., Delannoy J.-J., Ferrier C., Feruglio V., Fritz C., Gély B., Guibert P., Monney J., Tosello G., Clottes J., Geneste J.-M., 2018. Illuminating the cave, drawing in black: wood charcoal analysis at Chauvet-Pont d'Arc. *Antiquity* 92 (362), 320–333.
- Thibault, G., 2001. Modélisation 3-D de la grotte Cosquer par relevé laser. *International Newsletter on Rock Art* 28, 25–29.
- Trowbridge, C.C., 1913. On Fundamental Methods of Orientation and "Imaginary Maps". *Science* 38, 888–897.
- Tufféry C., 2019. Les compétences numériques en archéologie : un défi majeur et des risques de déni. ¿ Interrogations ? 28. [URL : <http://www.revue-interrogations.org/Lescompetences-numeriques-en>].
- Ucko, P.J., Rosenfeld, A., Dumartheray, M., 1967. *L'art paléolithique*. Hachette. Paris, 256 p.
- Olivier, L., 2008. *Le Sombre abîme du temps. Mémoire et archéologie*. Seuil. Paris, 288 p.
- Valladas, H., Clottes, J., 2003. Style, Chauvet and radiocarbon. *Antiquity* 77, 142–145.
- Valladas, H., Clottes, J., Geneste, J.-M. 2004. Chauvet, la grotte ornée la mieux datée du monde. *Pour la Science* 42, 82–87.
- Valladas, H., Tisnérat-Laborde N., Cachier H., Kaltnecker É., Arnold M., Oberlin C., Évin J., 2005. Bilan des datations carbone 14 effectuées sur des charbons de bois de la grotte Chauvet. *Bulletin de la Société préhistorique française* 102(1), 109–113.
- Vanara, N., Huet, C., Payet, N., Pech, P., Goeldner-Gianella, L., 2014. Environnement et géomatique : des métiers en mutation. *EchoGéo*. [URL : <http://journals.openedition.org/echogeo/13790>].
- Vatin, G., Bianchi, N., 2014. SIG des Merveilles : analysing rock art distribution with a web cartographic platform. *Archeologia e Calcolatori supplement* 5, 190–200.

- Vaudrey, R., 1931. Le destin de la grotte de Marsoulas. *L'Anthropologie* 41, 663–664.
- Vialou, D., 1979. Grotte de l'Aldène à Cesseroas (Hérault). *Gallia Préhistoire* 22, 1–85.
- Vialou, D., 1981. L'art pariétal en Ariège magdalénienne, thèse de doctorat d'Etat. Muséum National d'Histoire Naturelle, 1120 p.
- Vialou, D., 1982. Niaux, une construction symbolique magdalénienne exemplaire. *Ars praehistorica* 1, 19–45.
- Vialou, D., 1986. L'Art des grottes en Ariège magdalénienne. CNRS éditions. Paris, 432 p.
- Vialou, D., 1999. L'art paléolithique. In M. Otte (dir.). *La préhistoire*. Bruxelles, De Boeck Université, 213–289.
- Vialou, D., 2004. Architecture de l'art pariétal paléolithique. In M. Lejeune (dir.). *L'art pariétal paléolithique dans son contexte naturel*. Actes du colloque 8.2. Congrès de l'UISPP, Liège, 2–8 septembre 2001. Liège. ERAUL 107, 7–14.
- Villeneuve, S.N., Hayden, B., 2007. Nouvelle approche de l'analyse du contexte des figurations pariétales. In S. Beaune (dir.). *Chasseurs-cueilleurs. Comment vivaient nos ancêtres du Paléolithique supérieur*, Actes du colloque international Restituer la vie quotidienne au Paléolithique supérieur, Lyon, 16–18 mars 2005. CNRS éditions, Paris, 151–159.
- Villeneuve, S. N., 2008. Looking at caves from the bottom-up: A visual and contextual analysis of four Paleolithic painted caves in southwest France (Dordogne), MA thesis. Department of Anthropology. University of Victoria, 233 p.
- Vinck D., 2009. De l'objet intermédiaire à l'objet-frontière. Vers la prise en compte du travail d'équipement. *Revue d'anthropologie des connaissances* 3(1), 51–72.
- Walsh, I., Renaud, A., 2010. La théorie de la traduction revisitée ou la conduite du changement traduit. Application à un cas de fusion-acquisition nécessitant un changement de Système d'Information. *Management Avenir* 39, 283–302.
- Walter, P., Pedetti S., 2016. Analyse des pigments. In C. Fritz, G. Tosello (dir.). *Marsoulas : grotte de Marsoulas (Haute-Garonne)*. Bilan Scientifique 2019. Direction Régionale des Affaires Culturelles Midi-Pyrénées. Service Régional d'Archéologie, 54–62.
- Wescott, K.L., Brandon, R.J., 1999. Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modelling Toolkit. Wescott, K.L., Brandon, R.J. CRC Press, 187 p.
- Wienhold, M., 2014. Spatial Analysis and Actor Network theory: A multi scalar analytical study of the Chumash rock art of South Central California. Doctor of philosophy. University of Central Lancashire, 458 p.
- Wienhold M.L., Robinson D.W. 2017. GIS in Rock Art Studies. In D. Bruno, J. McNiven Ian (dir.). *The Oxford Handbook of the Archaeology and Anthropology of Rock Art*,

Oxford University Press. [URL :
<http://www.oxfordhandbooks.com/view/10.1093/oxfordhb/9780190607357.001.0001/oxfordhb-9780190607357-e-12>].

Wheatley, D., Gillings, M., 2002. *Spatial Technology and Archaeology: The archaeological applications of GIS*. Taylor & Francis, Abingdon, UK. 288 p.

Woollett, K., Maguire, E.A., 2011. Acquiring “the Knowledge” of London’s Layout Drives Structural Brain Changes. *Current Biology* 21, 2109–2114.

Wood, D., 2015. This Is Not about Old Maps. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization* 50(1), 14–17.

Yameogo, L., 2015. Le patrimoine méconnu des bois sacrés de la ville de Koudougou (Burkina Faso): de la reconnaissance à la sauvegarde. *Cahiers de géographie du Québec* 59, 71–90.

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 – Plafond d'Altamira, dessin du plafond aux bisons d'Altamira en Espagne, relevé au 1/5e de l'Abbé Breuil et Émile Cartailhac, 1902. | 34 |
| Figure 2 – Plan du Portel réalisé par (Breuil et Jeannel, 1955)..... | 35 |
| Figure 3 – Représentation de la grotte de Marsoulas (Leroi-Gourhan, 1958a, p.526). | 37 |
| Figure 4 – Plan topographique de la grotte d'Isturitz (par F. Rouzard et A. du Fayet de la Tour ; d'après Normand) (Pétillon et Letourneux, 2006)..... | 41 |
| Figure 5 – Grotte de Lascaux (Montignac), relevé sur calque de l'abbé André Glory (1906-1966). - © Archives du ministère de la Culture, Centre national de préhistoire. / Grotte Chauvet (Ardèche), relevé du Panneau des chevaux, Salle Hillaire, Carole Fritz et Gilles Tosello (Fritz et Tosello, 2015). | 41 |
| Figure 6 – Plan topographique Annette Laming-Empeaire (Laming-Empeaire, 1962). | 43 |
| Figure 7 – Synthèse des types de cartes. 1 – Emplacement des claviformes dans la grotte de Niaux (Robert, 2005). 2 – Grotte du Pigeonnier (Delluc et al., 1983). 3 – Las Chimeneas : plan de la grotte, avec indication de l'emplacement des figures (M. García Díez & D. Garrido Pimentel, 2010, p. 207). 4 – Grotte de Las Monedas : développement virtuel en 3D dimensions des zones de la galerie des peintures. (González, 2001, 103). 5 – Topographie simplifiée de la grotte de Cussac de la grotte de Cussac, (© DAO F. Lacrampe-Cuyaubère (d'apr. relevés terrain H. Camus & coll./Hypogée et Durif-Delluc-Massoulier/spéléoclub de Périgueux), PCR Cussac/MC.) (Jaubert et al., 2018). | 44 |
| Figure 8 – Etat de surface des sols, Rivière d'os, Salle des Bauges, Grotte Chauvet (Ardèche), C.Fritz et P.Fosse – ministère de la Culture..... | 60 |
| Figure 9 – Type de solutions Webmapping et serveurs cartographiques (Jégou, 2016). | 69 |
| Figure 10 – Schéma conceptuel de la gestion de l'information spatiale (Louman et al., 2020). | 71 |
| Figure 11 – Fonds cartographiques disponibles. L'encart est un zoom de la partie bord de la salle Brunel. Fond géomorphologique d'après le travail de J.-J.Delannoy, C.Ferrier, E.Debart. B.Kerzavo ; Orthpho et MNT ombré, d'après l'acquisition et le traitement de A.Laurent ; ombrage topographique d'après le scan laser Pérazio, 2016 (données équipe Chauvet), L.Louman. | 72 |
| Figure 12 – Visualisation de l'interface web – GeoData – Chauvet, L.Louman. | 74 |

| | |
|---|-----|
| Figure 13 – Tablette Surface avec l'application collector dans la grotte. La fiche gauche permet de compléter les données directement sur le fond topographique, L.Louman. | 75 |
| Figure 14 – Synchronisation des données collectées durant la sortie de la grotte, L.Louman. | 76 |
| Figure 15 – Mise à jour de l'état d'avancement du traitement photogrammétrique, L.Louman. | 77 |
| Figure 16 – Zone actualisée, L.Louman. | 77 |
| Figure 17 – Captures d'écrans mobiles avec l'affichage hors ligne du fond ortho. Zoom sur les empreintes d'ours des cavernes dans la zone des Panneaux rouges – Enregistrement de l'empreinte, L.Louman. | 78 |
| Figure 18 – Protocole d'acquisition de la donnée, L.Louman. | 79 |
| Figure 19 – L.Louman d'après Kemmis et McTaggart (Kemmis and McTaggart, 1998). | 82 |
| Figure 20 – Dashboard par type de figures, L.Louman. | 98 |
| Figure 21 – Support cartographique lors d'une réunion d'équipe, février 2020, L.Louman. | 105 |
| Figure 22 – Trajectoires de collecte des données d'après les entretiens menés, L.Louman. | 111 |
| Figure 23 – Entrée de la grotte de Marsoulas, C.Fritz..... | 118 |
| Figure 24 – Grotte de Marsoulas, vue à environ 10 m de l'entrée vers le fond de la grotte, C.Fritz. | 118 |
| Figure 25 – Bison dont le pelage est réalisé par de 300 ponctuations rouges faites aux doigts, C.Fritz. | 121 |
| Figure 26 – Coupe de la fouille du porche par J.Russell et H.Bégoüen (Russell, 1930). | 131 |
| Figure 27 – Plan d'Ollé et Michaut (Méroc et <i>al.</i> , 1948)..... | 132 |
| Figure 28 – Scan brut de la grotte de Marsoulas, réalisé en 2008 par le Cabinet Perazio, L.Louman. | 133 |
| Figure 29 – Modèle 3D géoréférencé du « Grand Panneau peint ». L. Louman à partir des clichés de M. Willis, (2009)..... | 134 |
| Figure 30 – Relevé du Grand panneau peint, G.Tosello et C.Fritz..... | 135 |
| Figure 31 – Vue de la base SIG de Marsoulas avec l'ensemble des anciennes données topographiques, ArcMap. | 137 |
| Figure 32 – Traduction en symbole ponctué d'une entité graphique réelle, L.Louman. | 139 |
| Figure 33 – Loi de clôture / Le fond est mis en valeur par l'organisation des formes. | 140 |
| Figure 34 – Exemple de requête spatiale « Contain ». Dans le premier cas, l'entité est digitalisée avec ses contours maximaux. La requête ressort positivement. Le | |

mammouth est donc bien sélectionné grâce à la requête spatiale et permet donc de comptabiliser la relation. Dans le deuxième cas, la figure est représentée uniquement par ses contours, elle apparaît donc vide à l'intérieur. La même requête « contain » apparaît alors négativement, le mammouth situé à l'intérieur n'est pas comptabilisé. Aucun lien ne peut être alors observé avec ce moyen de digitalisation malgré la relation existante entre les deux figures, L.Louman. 141

Figure 35 – Mesh texturé réalisé par Mark Willis, 2020 d'après le relevé de Gilles Tosello, image de haut, vue de face de la paroi gauche, image du bas vue aérienne de l'entrée jusqu' à l'étranglement de la paroi de gauche).144

Figure 36 – Sélection d'un avant-train de cheval sur la paroi de droite, L.Louman 144

Figure 37 – Vue générale de la grotte dans Arcscène, L.Louman.146

Figure 38 – Visualisation de l'entrée vers le fond de la grotte. Deux entités sont sélectionnées sur la paroi gauche, L.Louman.146

Figure 39 – Vue de l'orthophoto et sélection d'un bison dans la table attributaire, L.Louman. 147

Figure 40 – Vue générale des entités sans les deux parois, L.Louman. 147

Figure 41 – Couche vectorielle et ombrage de la paroi, L.Louman.149

Figure 42 – Succession des couches d'informations (MNT, ombrage, orthophoto, relevé graphique, entités graphiques), L.Louman.....149

Figure 43 – Différence de calcul entre la « zone ornée » et « la surface cumulée des entités graphiques ». 152

Figure 44 – Vue d'ArcScène de la paroi gauche, estimation de la zone ornée.153

Figure 45 – Surface occupée par catégorie/ Figure 46 – nombre d'entités par catégorie/ Figure 47 – rapport surface/nombre d'entités.....155

Figure 48 – Nombre de figures présentes par espèce/Figure 49 – Surface en m² occupée par espèce/Figure 50 – Rapport surface/entité.156

Figure 51 – Boîte de dispersion des familles159

Figure 52 – Visualisation des sections de 50 cm de l'entrée jusqu'à l'étranglement.163

Figure 53 – Vue ArcScène de la répartition des thématiques, vue derrière la paroi de droite orientée vers la paroi de gauche.....164

Figure 54 – Vue ArcScène derrière la paroi de gauche vers l'entrée.164

Figure 55 – Localisation des zones sur la paroi gauche : zone 1, zone 2, zone 3. (Vue à partir de la paroi de droite en direction du fond de la grotte).....171

Figure 56 – Localisation de la zone 1. (Vue à partir de la paroi de droite en direction du fond de la grotte) 172

Figure 57 – Le chanfrein du bison est dessiné le long d'une dépression. La figure a été bien calibrée entre deux irrégularités, Mesh texturé M.Willis et G.Tosello. 173

Figure 58 – Le registre supérieur présente des zones vides et des zones investies. M.Willis et G.Tosello, 2020. 173

Figure 59 – Principles of Archaeological Stratigraphy (Harris, 1979). 176

| | |
|---|-----|
| Figure 60 – Visualisation du diagramme du Grand Panneau réalisé sur 141 entités graphiques, C.Fritz. | 179 |
| Figure 61 – Matrice de Harris associée au relevé graphique (Aubry, 2014)..... | 179 |
| Figure 62 – Vue en 2,5D décomposée par arrivée sur la paroi sous d’ArcScene (ESRI). Les phases s’étendent de 1 à 6 (sans les graffiti) à partir de la paroi, avant le retrait des figures isolées, L.Louman. | 181 |
| Figure 63 – Cette image témoigne de la hauteur de la tranchée réalisée par Régnauld. On aperçoit, entre autres, un jeune debout, appuyé contre la paroi, qui confirme ces 1,60 m de hauteur..... | 196 |
| Figure 64 – Vue zénitale du sondage, C.Fritz. | 198 |
| Figure 65 – Fouille du proche 1931 (Bégoüen et Russell). | 199 |
| Figure 66 – Opérations archéologiques d’après les mentions des auteurs. | 201 |
| Figure 67 – Répartition des coordonnées (Z) des centroïdes des entités. | 204 |
| Figure 68 – Visualisation des axes x et z dans la répartition des centroïdes des entités, L.Louman. | 205 |
| Figure 69 – Localisation de l’entité la plus haute et la plus basse. L’entité G16.03/G19.10 est située à 3,23 m de hauteur, L.Louman..... | 205 |
| Figure 70 – Hauteurs moyennes des entités graphiques avec le niveau de sol actuel, L.Louman. | 206 |
| Figure 71 – Sol actuel et simulation des deux niveaux de sol (sondage et point le plus bas), L.Louman..... | 208 |
| Figure 72 – Signes barbelés en miroir paroi de gauche et paroi de droite (vue de derrière la paroi droite), L.Louman. | 213 |
| Figure 73 – Entités graphiques qualifiées de « marques topographiques » par les auteurs. Grotte de Mayennes-Science (Pigeaud, 2005) et Grotte de Cosquer, (Clottes et al., 2005). | 225 |
| Figure 74 – Traces rouges confrontées au passage d’un corps dans la grotte de Nerja (Sanchidrián Torti et Medina-Alcaide et al., 2016)..... | 226 |
| Figure 75 – Ensembles de traces rouges dans la grotte de Cougnac (Lorblanchet, 2010)..... | 227 |
| Figure 76 – Carte du secteur 1 de la grotte d’Ardales. Répartition des traces rouges sur paroi, plafond et spéléothèmes (Cantalejo, 2006)..... | 228 |
| Figure 77 – Exemples de traces rouges pour la grotte d’Ardales, (Cantalejo, 2006). | 228 |
| Figure 78 – Visualisation des principales salles, C.Fritz et G.Tosello, S.Jaillet, J.J.Delannoy. | 231 |
| Figure 79 – Visualisation des principales zones, C.Fritz, G.Tosello, L.Louman. | 232 |
| Figure 80 – Processus de création du corpus de traces à partir de sources diverses. | 235 |

| | |
|--|-----|
| Figure 81 – Traitement Dstretch pour visualiser les coloration rouge, Massif de la Gloriette, Salle Brunel, L.Louman | 236 |
| Figure 82 – Matière liquide sur une proéminence rocheuse, salle Brunel / Matière sèche, à proximité du Seuil, salle Brunel, L.Louman..... | 238 |
| Figure 83 – Maculations (Seuil), maculations (Salle Brunel), empreintes digitées (Salle Brunel), badigeonnage (Salle Brunel), L.Louman..... | 239 |
| Figure 84 – Traces de colorant : sur massif rocheux, sur plafond, sur stalactite, en haut d'un pendant (Gauche à droite), L.Louman, relevé C.Fritz et G.Tosello. | 240 |
| Figure 85 – Localisation des traces sur la Massif de la Gloriette (Vue du nord en direction du sud), Pérazio, 2016..... | 244 |
| Figure 86 – Traces de colorant autour d'une galerie qui mène au diverticule des ours, à proximité du Mégacéros, Salle Brunel, L.Louman. | 251 |
| Figure 87 – Exemple de maculations sur un rideau stalagmitique du massif de la Gloriette, Salle Brunel, L.Louman. | 257 |
| Figure 88 – Exemple de maculations autour d'un massif rocheux appelé le Hibou, situé à proximité du panneau de l'entrée, Salle Brunel, L.Louman. | 258 |
| Figure 89 – Cartes des empreintes digitées, L.Louman. | 259 |
| Figure 90 – Massif de la Gloriette, badigeonnage, M.Willis. | 260 |
| Figure 91 – Tache volontaire, Seuil, L.Louman. | 261 |
| Figure 92 – Tache volontaire, Salle des Bauges, L.Louman. | 261 |
| Figure 93 – Frottement à hauteur, à proximité de la descenterie, Salle Brunel, L.Louman. | 262 |
| Figure 94 – Carte de la grotte Chufín (Ochoa et Garcia-Diez, 2016). | 268 |
| Figure 95 – Découpage des niveaux de sol peuvent apparaître arbitraires dans certains cas, L.Louman..... | 274 |
| Figure 96 – Utilisation de statistiques focales, L.Louman. | 274 |
| Figure 97 – Modélisation de l'analyse multicritère..... | 282 |
| Figure 98 – Traces rouges dans le sens d'escalade, L.Louman ; V. Feruglio, 2016. . | 289 |
| Figure 99 – Proéminence rocheuse face aux Dominos, L.Louman. | 290 |
| Figure 100 – Traces argileuses diffuses situées 1,10/1,20m du sol, L.Louman. | 291 |
| Figure 101 – Ponctuations doubles sur relief La garma (Robert, 2009), Chauvet, L.Louman, La losetta (Balbin-Behrmann, 2005). | 296 |
| Figure 102 – Ponctuations Ardales, (Cantalejo, 2006), Chauvet,L.Louman, La Garma (Robert, 2006)..... | 297 |
| Figure 103 – Traces rouges retrouvées sur rideaux stalactimigtiques de la grotte de La Losetta (De Balbin-Behrmann et <i>al.</i> , 2005), la grotte d'Ardales (Ramos-Muñoz et <i>al.</i> , 2022) | 298 |
| Figure 104 – Grotte d'Oxocelhaya, Salle des lithophones, A.Labarge (Labarge, 2012), maculations similaires à Chauvet. | 300 |
| Figure 105 – Étapes d'élaboration du raisonnement spatial. | 312 |

TABLE DES GRAPHIQUES

| | |
|---|-----|
| Graphique 1 – Nombre de représentants par discipline, retranscrit tel quel à partir du rapport triennal de 2001. Les disciplines sont extrêmement variées au début des premières années de campagne. Néanmoins certaines sont plus représentées en nombre de chercheurs (l'art préhistorique, l'étude de la faune, l'archéologie et le spectre géologique), L.Louman..... | 56 |
| Graphique 2 – Liste des membres par discipline à partir du rapport 2020, L.Louman. | 107 |
| Graphique 3 – Répartition des entités en fonction de leur surface et groupées par catégorie..... | 154 |
| Graphique 4 – Rapport surface/nombre d'entités par famille | 158 |
| Graphique 5 – Répartition des thématiques dans le déroulé graphique. | 165 |
| Graphique 6 – Matrice de corrélation. | 166 |
| Graphique 7 – Répartition des thématiques des déroulés graphiques..... | 168 |
| Graphique 8 – Répartition des thématiques par sous-famille paroi de gauche et de droite..... | 168 |
| Graphique 9 – Séquence matricielle par thématique..... | 182 |
| Graphique 10 – Techniques utilisées par séquences (fréquences) / Graphique 11 – Techniques utilisées par séquences (surfaces m ²) | 183 |
| Graphique 12 – Distribution des entités graphiques niveaux de sols droits ou niveaux de sols théoriques..... | 209 |
| Graphique 13 – Hauteur des entités graphiques par séquences. | 210 |
| Graphique 14 – Hauteur des signes rouges par séquences..... | 211 |
| Graphique 15 – Nuage de point de la longueur et largeur maximale des traces..... | 246 |
| Graphique 16 – Répartition des tailles et marques en fonction de la médiane et des écarts-types..... | 247 |
| Graphique 17 – Distribution des hauteurs en mètre par fréquences..... | 250 |
| Graphique 18 – Fréquences de répartition des types de supports. | 253 |

TABLE DES CARTES

| | |
|--|-----|
| Carte 1 – Estimation des distances à partir des passerelles et planchers stalagmitiques, L.Louman. | 61 |
| Carte 2 - Plan topographie de la grotte de Marsoulas , L.Louman. | 119 |
| Carte 3 – Localisation des entités graphiques et des zones ornées, L.Louman. | 121 |
| Carte 4 – Vue ArcScène derrière la paroi droite face au Grand Panneau peint..... | 161 |
| Carte 5 – Vue ArcScène de l’analyse graduelle, orientée derrière la paroi droite vers le fond. | 162 |
| Carte 6 – Densité des superpositions avec la méthode des quadras, L.Louman. | 185 |
| Carte 7 – Position des signes par séquence, L.Louman. | 188 |
| Carte 8 – Liens de contemporanéité ajoutés aux séquences, L.Louman. | 189 |
| Carte 9 – Séquences hypothétiques en cas de contemporanéité des signes, L.Louman. | 191 |
| Carte 10 – Secteurs de la grotte, L.Louman. | 230 |
| Carte 11 – Les degrés de connaissance des zones prospectées, L.Louman..... | 237 |
| Carte 12 – Cartographie des types des traces, L.Louman. | 245 |
| Carte 13 – Surfaces occupées, L.Louman..... | 249 |
| Carte 14 – Hauteurs en mètres, L.Louman. | 252 |
| Carte 15 – Localisation des types de supports, L.Louman..... | 254 |
| Carte 16 – Les types de gestes, L.Louman. | 263 |
| Carte 17 – Zones topographiques de la grotte Chauvet (Le Guillou, 2005)..... | 268 |
| Carte 18 – Etats des sols et présence de calcites anciennes et zones modifiées après la fréquentation paléolithique (Delannoy et al., 2020)..... | 273 |
| Carte 19 – Analyse des pentes, L.Louman. | 276 |
| Carte 20 – Analyse de la hauteur sol/plafond, L.Louman..... | 278 |
| Carte 21 – Analyse des irrégularités de surfaces, L.Louman. | 279 |
| Carte 22 – Analyse de la distance de coût, L.Louman..... | 280 |
| Carte 23 – Résultat de l’analyse multicritère, L.Louman. | 284 |

TABLE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----|
| Tableau 1 – Synthèse des définitions des besoins | 68 |
| Tableau 2 – Synthèse et identification des acteurs par le point de passage obligatoire, schéma d'après M. Callon (Callon, 1986). | 95 |
| Tableau 3 – Processus d'acquisition des données par étude à partir des entretiens réalisés..... | 110 |
| Tableau 4 – Horizon chronologique identifié par Henri Breuil à partir de l'étude des entités graphiques. | 126 |
| Tableau 5 – Catalogue des données spatiales créées à partir des sources disponibles. | 136 |
| Tableau 6 – Listes des figures non présentes sur le mesh texturé. | 144 |
| Tableau 7 – Mesures des surfaces investies graphiquement en m ² | 152 |
| Tableau 8 – Répartition des entités par zones. | 171 |
| Tableau 9 – Stratigraphie de Cau-Durban d'après sa publication en 1885 (Cau-Durban, 1885). | 195 |
| Tableau 10 – Synthèse des données collectées. | 200 |
| Tableau 11 – Fiches des critères retenus. | 242 |
| Tableau 12 – Nombre de traces dans la première partie de la grotte Chauvet. | 243 |
| Tableau 13 – Répartition des entités isolées des champs manuels communs. | 255 |
| Tableau 14 – Présence des traces situées à plus et à moins de 80cm des signes et entités figuratives..... | 256 |
| Tableau 15 – Répartitions des moyens d'application. | 256 |
| Tableau 16 – Modélisation de la contrainte spatiale..... | 281 |
| Tableau 17 – Synthèse des types de contraintes spatiales..... | 283 |
| Tableau 18 – Nombre d'entités par zone. | 285 |
| Tableau 19 – Nombres d'entités. | 287 |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| REMERCIEMENTS | 5 |
| SOMMAIRE | 11 |
| RÉSUMÉ | 15 |
| INTRODUCTION | 21 |
| 1.- L'ORGANISATION SPATIALE EN GROTTES ORNÉES : DES CONCEPTS AUX MOYENS D'ÉTUDES..... | 31 |
| 1.1. - INTRODUCTION..... | 33 |
| 1.2. - L'ART PARIÉTAL, LA GROTTTE ET SON ORGANISATION | 34 |
| 1.2.1. - <i>Des premiers travaux à l'importance du structuralisme.....</i> | <i>34</i> |
| 1.2.2. - <i>Les spécificités de l'étude de l'organisation spatiale : des acquis poststructuralistes renforcés.....</i> | <i>38</i> |
| 1.3. - VISUALISER ET RESTITUER L'ORGANISATION SPATIALE : LES OUTILS | 40 |
| 1.3.1. - <i>Plan topographique et relevés graphiques.....</i> | <i>40</i> |
| 1.3.2. - <i>Les outils 3D : des supports transversaux</i> | <i>45</i> |
| 1.3.3. - <i>Les systèmes d'information géographique des outils adaptés à l'étude de l'ornementation des grottes ?</i> | <i>47</i> |
| 1.4. - CONCLUSION..... | 52 |
| 2.- DE L'ACQUISITION À L'ORGANISATION, GÉRER LES DONNÉES SPATIALES : L'EXEMPLE DE LA GROTTTE CHAUVET-PONT-D'ARC (ARDÈCHE, FRANCE)..... | 53 |
| 2.1. - INTRODUCTION..... | 55 |
| 2.2. - UN CONTEXTE DE RECHERCHE : LA GROTTTE CHAUVET..... | 55 |
| 2.2.1. - <i>Enjeux d'une recherche multidisciplinaire</i> | <i>55</i> |
| 2.2.2. - <i>La grotte soumise à des conditions de recherche.....</i> | <i>58</i> |
| 2.2.3. - <i>Le SIG : une solution adaptée amenée à évoluer.....</i> | <i>62</i> |
| 2.3. - CADRE METHODOLOGIQUE | 64 |
| 2.3.1. - <i>Faire évoluer un dispositif cartographique : le géoweb</i> | <i>64</i> |
| 2.3.2. - <i>Le géoweb et l'archéologie</i> | <i>66</i> |
| 2.3.3. - <i>Vers une définition des besoins</i> | <i>67</i> |
| 2.3.1. - <i>Mise en pratique</i> | <i>70</i> |
| 2.4. - APPLICATIONS A LA RECHERCHE EN COURS | 76 |
| 2.4.1. - <i>Le suivi et l'actualisation documentaire : exemple de la couverture photogrammétrique.....</i> | <i>76</i> |
| 2.4.2. - <i>Collecter et identifier : exemple des pistes d'empreintes (ichnologie) ..</i> | <i>77</i> |
| 2.4.3. - <i>Création d'un protocole d'acquisition reproductible et exemples d'utilisation du webSIG.....</i> | <i>79</i> |

| | |
|---|------------|
| 2.5. - METHODE D'ENQUETE POUR EVALUER LES ATTENTES ET LE DISPOSITIF EN PRESENCE | 80 |
| 2.5.1. - <i>Du positionnement « d'insider » à une posture de recherche-action</i> | 80 |
| 2.5.2. - <i>Observation participante et focus group</i> | 82 |
| 2.5.3. - <i>Entretiens semi-directifs</i> | 83 |
| 2.6. - ANALYSE DU DISPOSITIF SOCIOTECHNIQUE PAR LA SOCIOLOGIE DE LA TRADUCTION | 84 |
| 2.6.1. - <i>La théorie de l'acteur réseau : une grille de lecture</i> | 84 |
| 2.6.2. - <i>Les SIG, des cas de controverses déjà avérés</i> | 88 |
| 2.6.3. - <i>Applications à la grotte Chauvet</i> | 89 |
| 2.7. - IMPACT, CHANGEMENTS ET USAGES DU GEOWEB POUR L'EQUIPE DE RECHERCHE | 100 |
| 2.7.1. - <i>Retour sur des leviers d'action pour la recherche collective</i> | 100 |
| 2.7.2. - <i>Une lecture critique de l'apport des « pratiques numériques »</i> | 106 |
| 2.8. - CONCLUSION | 113 |
| 3.- RECONSTRUIRE LES DYNAMIQUES ORNEMENTALES D'UNE GROTTES ORNÉE PAR L'INFORMATION SPATIALE : L'EXEMPLE DE LA GROTTES DE MARSOULAS (HAUTE-GARONNE, FRANCE) | 115 |
| 3.1. - INTRODUCTION | 117 |
| 3.2. - LA GROTTES DE MARSOULAS : ENJEUX ET APPLICATIONS | 118 |
| 3.2.1. - <i>Présentation générale de la grotte</i> | 118 |
| 3.2.2. - <i>Contexte historique de l'étude</i> | 122 |
| 3.2.3. - <i>Évolutions de l'attribution culturelle</i> | 125 |
| 3.2.4. - <i>Enjeux d'une approche spatiale pour la recherche à Marsoulas</i> | 127 |
| 3.3. - CONSTRUIRE L'INFORMATION SPATIALE : LES SOURCES DISPONIBLES | 129 |
| 3.3.1. - <i>Les sources historiques</i> | 130 |
| 3.3.2. - <i>Les sources numériques</i> | 132 |
| 3.3.3. - <i>Les sources actuelles</i> | 134 |
| 3.4. - CADRE METHODOLOGIQUE DE L'ELABORATION D'UN SIG AU PASSAGE D'UN SIG 3D..... | 135 |
| 3.4.1. - <i>Le SIG « classique » : un socle de connaissance de base</i> | 135 |
| 3.4.2. - <i>La création d'un SIG 3D en multi-patch</i> | 141 |
| 3.4.3. - <i>Le SIG en 2,5D appliqué à la stratigraphie de paroi</i> | 148 |
| 3.5. - LE SIG 3D APPLIQUE A L'ANALYSE A L'ORGANISATION GRAPHIQUE | 150 |
| 3.5.1. - <i>Estimer la surface ornée et l'impact de la présence ornementale</i> | 150 |
| 3.5.2. - <i>Estimer la surface ornementale occupée</i> | 151 |
| 3.5.3. - <i>Visualiser le déroulé graphique</i> | 162 |
| 3.6. - MODELISER LA TEMPORALITE RELATIVE SUR UNE PAROI ORNEE | 175 |
| 3.6.1. - <i>Les superpositions pariétales de la grotte de Marsoulas</i> | 175 |
| 3.6.2. - <i>Modéliser la stratigraphie de paroi</i> | 176 |
| 3.6.3. - <i>Visualisation des premières séquences sous ArcScène</i> | 180 |
| 3.6.4. - <i>Vers la recherche de lien de contemporanéité</i> | 186 |
| 3.7. - RELATION SPATIALE ENTRE SOL ET PAROI..... | 193 |

| | |
|--|------------|
| 3.7.1. - Modéliser les opérations anciennes | 193 |
| 3.7.2. - Indice de modélisation stratigraphique : une information différentielle et incertaine..... | 194 |
| 3.7.3. - Cartographie historique des opérations | 200 |
| 3.8. - APPORTS DES SIG PORTES A L'ETUDE CHRONOSPATIALE DE L'ART PARIETAL | 211 |
| 3.8.1. - Une construction symbolique élaborée..... | 211 |
| 3.8.2. - Restituer la stratigraphie pariétale | 214 |
| 3.8.3. - Modélisation des opérations anciennes..... | 214 |
| 3.9. - CONCLUSION | 215 |
| | |
| 4.- DE LA TRACE À LA PRATIQUE SPATIALE : UNE ANALYSE DES MARQUES PARIÉTALES DE LA GROTTTE CHAUVET (ARDÈCHE, FRANCE) | 219 |
| | |
| 4.1. - INTRODUCTION | 221 |
| 4.2. - LES TRACES DE COLORANT : UN CADRE DE DEFINITION | 222 |
| 4.2.1. - De l'historique vers un cadre de définition..... | 222 |
| 4.2.2. - Les hypothèses fonctionnelles | 224 |
| 4.3. - LES TRACES DE COLORANT DE LA GROTTTE CHAUVET : DU CONTEXTE AUX MOYENS D'ETUDES | 229 |
| 4.3.1. - Un secteur clé : la première partie de la grotte Chauvet..... | 229 |
| 4.3.2. - Un protocole d'étude orienté sur l'espace..... | 234 |
| 4.3.3. - Les critères retenus..... | 238 |
| 4.4. - PRESENTATION GENERALE DU CORPUS DU TRACES | 242 |
| 4.4.1. - Présentation du corpus | 243 |
| 4.4.2. - Mesures | 246 |
| 4.4.3. - Les hauteurs d'exécution..... | 250 |
| 4.4.4. - Les types de support..... | 253 |
| 4.4.5. - Relations spatiales entre les traces et les entités figuratives et non figuratives..... | 255 |
| 4.4.6. - Les gestes | 256 |
| 4.4.7. - Les marques et les traces une catégorie non « quantifiables » | 264 |
| 4.5. - LA CONTRAINTE SPATIALE : UNE LECTURE TOPOGRAPHIQUE INEDITE | 264 |
| 4.5.1. - Les espaces ouverts et fermés : des notions préalables à la modélisation de la contrainte | 265 |
| 4.5.2. - Objectivité des espaces : la représentation de la contrainte..... | 267 |
| 4.6. - MODELISER LE LIEU : LA CONTRAINTE SPATIALE PAR L'ANALYSE MULTICRITERE | 269 |
| 4.6.1. - L'analyse multicritère..... | 269 |
| 4.6.2. - Les critères sélectionnés..... | 270 |
| 4.6.3. - Les données mobilisées | 272 |
| 4.6.4. - Matrice et pondérations | 275 |

| | |
|---|------------|
| 4.6.5. - Synthèse de modélisation spatiale des degrés de contraintes spatiales | 281 |
| 4.7. - RESULTATS : L'OBJET DANS LE LIEU, LES MARQUES DE COLORANT ET ENTITES AU REGARD DE LA CONTRAINTE SPATIALE..... | 285 |
| 4.7.1. - Relation spatiale des marques de colorant dans la topographie | 285 |
| 4.7.2. - Relation spatiale des figures animales dans la topographie de l'espace symbolique..... | 286 |
| 4.7.3. - Deux logiques spatiales : reflet d'une différence fonctionnelle ?..... | 287 |
| 4.8. - INTERPRETATIONS FONCTIONNELLES DES TRACES ROUGES A CHAUVET : DES HYPOTHESES REDISCUTEES..... | 288 |
| 4.8.1. - Les traces sur le corps et accident..... | 288 |
| 4.8.2. - Le repérage/cheminement..... | 291 |
| 4.8.3. - Des gestes spontanés | 294 |
| 4.8.4. - Les marques de colorant dans le contexte d'autres dispositifs ornés..... | 295 |
| 4.8.5. - Un comportement tactile spécifique ?..... | 299 |
| 4.9. - CONCLUSION | 301 |
| 5.- CONCLUSION..... | 305 |
| 5.2. - CONSTRUIRE ET SPATIALISER COLLECTIVEMENT LA CONNAISSANCE..... | 307 |
| 5.3. - UN MOYEN D'ANALYSE DE L'ORGANISATION SPATIALE DES GROTTES | 308 |
| 5.4. - LA GEOMATIQUE : UNE PASSERELLE METHODOLOGIQUE DE L'ART PARIETAL A D'AUTRES DISCIPLINES..... | 309 |
| 5.5. - UNE CHAINE OPERATOIRE DU RAISONNEMENT SPATIAL EN GROTTTE..... | 311 |
| 5.6. - LIMITES ET PERSPECTIVES | 312 |
| GLOSSAIRE | 317 |
| BIBLIOGRAPHIE | 323 |
| TABLE DES FIGURES..... | 361 |
| TABLE DES GRAPHIQUES | 367 |
| TABLE DES CARTES | 369 |
| TABLE DES TABLEAUX | 371 |
| TABLE DES MATIÈRES | 373 |

CY CERGY PARIS UNIVERSITÉ

ED n° 284 DSH (Droit et Sciences Humaines)

Laboratoire PLACES « laboratoire de géographie et d'aménagement »

Approche géomatique des dynamiques d'ornementation de la grotte Chauvet et de Marsoulas

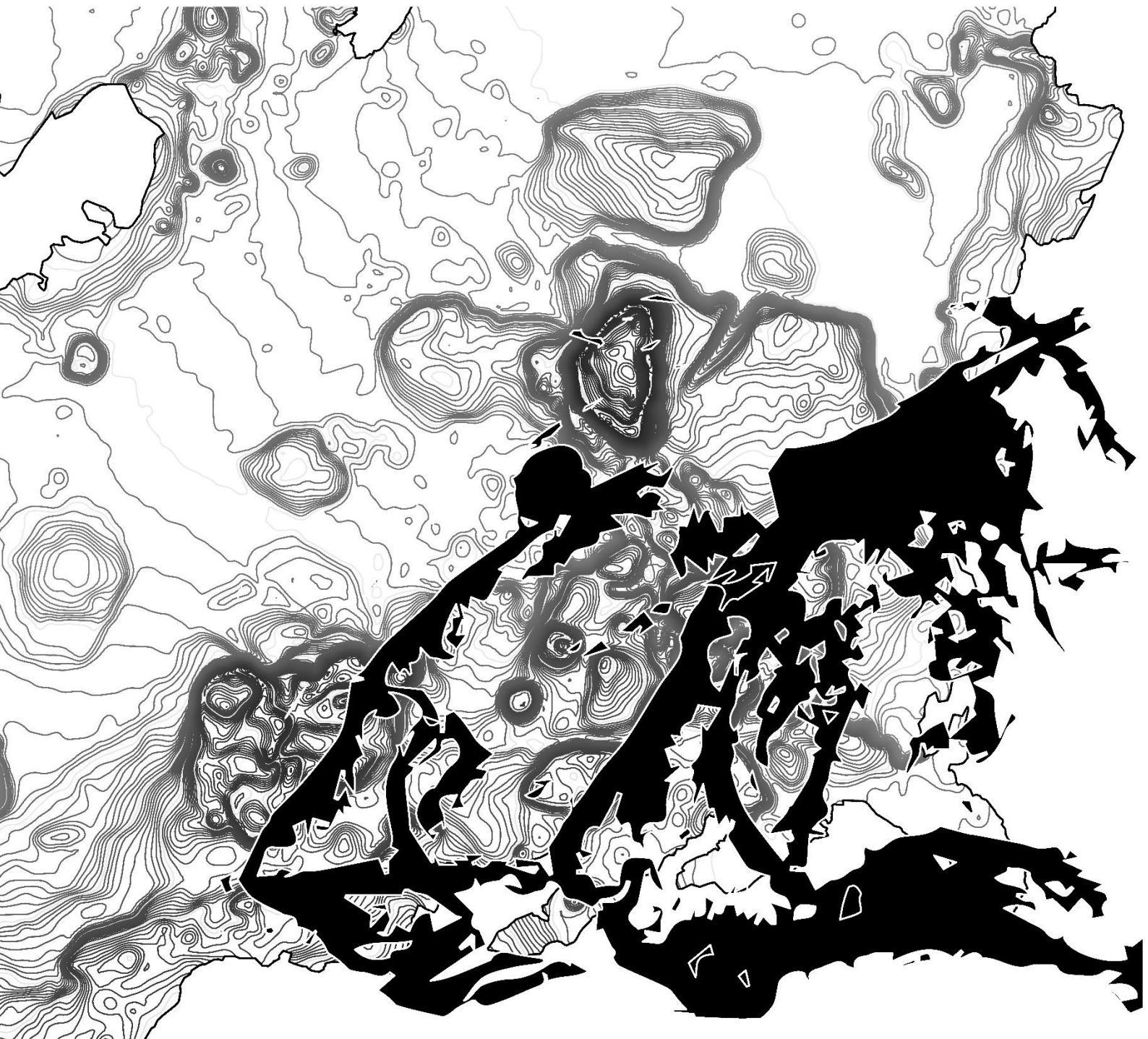
Volume 2

Thèse pour l'obtention du Doctorat de CY Cergy Paris Université
Discipline : Géographie et Géomatique / Archéologie préhistorique

Présentée par
Laura Louman

Jury composé de :

- Paule-Annick DAVOINE**, Professeure des Universités, Université Grenoble-Alpes, rapporteuse.
- Olivia RIVERO**, Maître de conférences, Universidad de Salamanca, rapporteuse.
- Isabella DAMIANI**, Maître de conférences, Université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, examinatrice.
- Thierry JOLIVEAU**, Professeur des Universités, Université de Saint-Etienne, examinateur.
- Geneviève PINÇON**, Directrice du Centre national de préhistoire, ministère de la Culture (Laboratoire TRACES), examinatrice.
- Didier DESPONDS**, Professeur des Universités, CY Cergy-Paris Université, directeur.
- Carole FRITZ**, Directrice de recherche CNRS (Laboratoire CREAP-TRACES), co-directrice.



**Approche géomatique des dynamiques
d'ornementation des grottes ornées
de Marsoulas et Chauvet**

Volume 2

Laura Louman

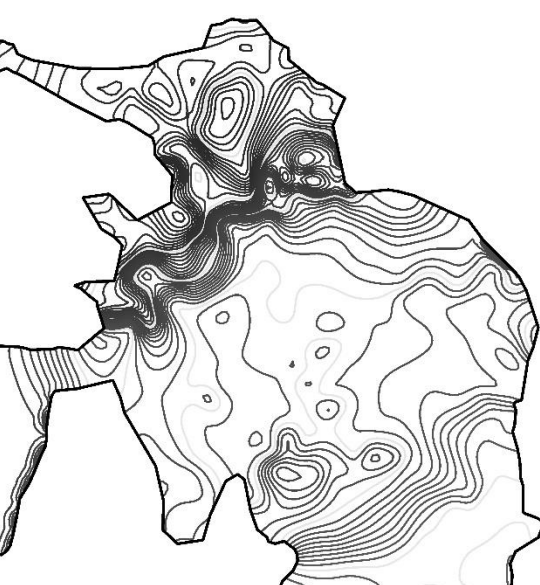


TABLE DES ANNEXES

| | |
|--|----|
| ANNEXE 1 – Les techniques de numérisation 3D. | 7 |
| ANNEXE 2 – Les différentes dimensions. | 9 |
| ANNEXE 3 – Visualisation de l’interface GeoData Chauvet..... | 11 |
| ANNEXE 4 – Grille et retranscriptions des entretiens..... | 12 |
| ANNEXE 5 – Périodes et faciès du Magdalénien en France et Espagne. | 55 |
| ANNEXE 6 – Attributions des chronologies à travers les publications des auteurs. | 56 |
| ANNEXE 7 – Base de données Marsap. | 57 |
| ANNEXE 8 – Analyse de surface. | 58 |
| ANNEXE 9 – Observation de l’emplacement des entités. | 66 |
| ANNEXE 10 – Repères identifiées sur plusieurs photos (G.Tosello, C.Fritz, C.Ferrier et J.-C.Blanc). | 67 |
| ANNEXE 11 – Noms et localisations des différents panneaux dans la première partie de la grotte Chauvet | 68 |

ANNEXE 1 – Les techniques de numérisation 3D.

La **photogrammétrie** est une technique d'acquisition d'image 3D qui permet de générer des nuages de points et des modèles 3D à partir de multiples prises de vue 2D. C'est grâce aux calculs des parallaxes qu'il est possible de déterminer les perspectives des objets : « *Metric photogrammetry consists of making precise measurements from photos and other information sources to determine, in general, the relative locations of points. This enables finding distances, angles, areas, volumes, elevations, and sizes and shapes of objects.* » (Wolf et al., 2013, p.8). Une fois l'acquisition d'image effectuée par différents angles, les algorithmes présents dans les logiciels cherchent les points homologues aux différentes images et calculent ainsi leur emplacement. La photogrammétrie permet d'acquérir des nuages de points dans un référentiel métrique. Le modèle généré est alors géoréférencé et compatible avec des logiciels SIG. Cette technique est aujourd'hui incontournable en archéologie, car elle dématérialise la prise de mesure d'exakte, permet de travailler à distance de l'objet d'étude. Les retombés se retrouvent autant sur les vestiges, en suivi de chantier de fouille, numérisation de site. Elle répond alors à un besoin multiple aussi bien en conservation, valorisation patrimoniale que pour la recherche.





Exemples de prise de vues, Panneaux de l'ours rouge, galerie du Cactus Chauvet, © L.Louman

La lasergrammétrie est une technique d'acquisition de coordonnées par balayage laser. Contrairement à la photogrammétrie qui passe par le biais de la photographie 2D, la lasergrammétrie utilise des capteurs laser pour numériser des surfaces. Cette technique d'une grande précision permet d'acquérir des nuages de points dans un temps très court avec un bon degré de précision. Elle fonctionne sur de très grandes surfaces et demande moins de temps d'acquisition que la photogrammétrie. L'objet numérisé se fait par le biais de plusieurs stations. Cette technique est très employée dans l'étude des grottes, car elle est parfaitement adaptée à la numérisation de surface complexe en 3D dimensions.



Nuage de points de la salle Hillaire, acquis par le Cabinet Pérazio en 2016 ©.

ANNEXE 2 – Les différentes dimensions.

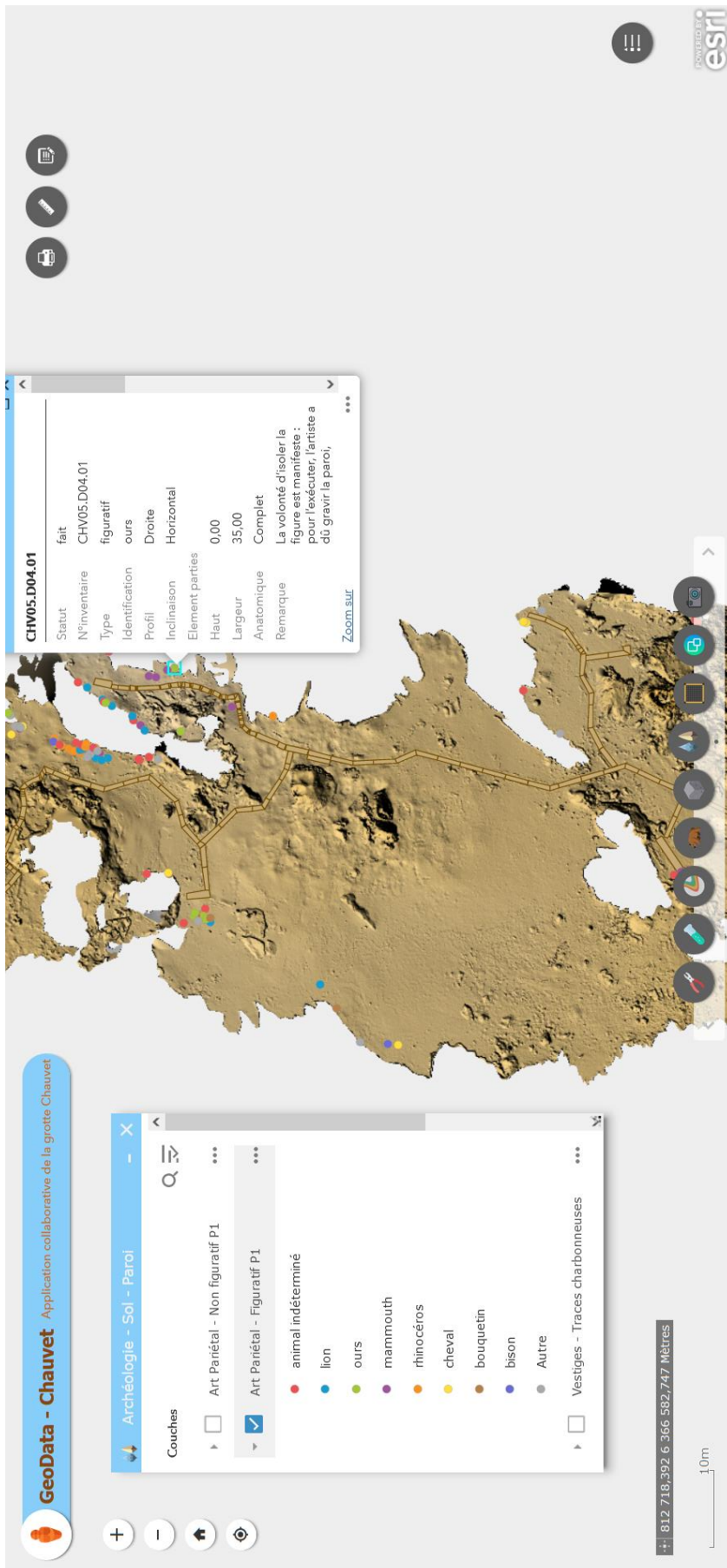
Le 2D : en cartographie comme dans les systèmes d'information géographique, c'est le principal moyen de visualisation et de restitution. Les systèmes de projection s'affichent selon les axes bidimensionnels X et Y. L'axe Z, bien qu'ils soient pris en compte n'est pas présent visuellement dans cette répartition. La visualisation restitue une vue aérienne de la surface de la Terre. De base la visualisation des hauteurs et du relief n'est pas présente dans ces vues traditionnelles. Ainsi la visualisation des altitudes se fait par niveaux de couleur et la matérialisation des ombres. Dans le cadre de l'étude d'une paroi, le relevé graphique est également restitué en 2D, cependant le plan bidimensionnel utilisé est différent de l'axe utilisé par les SIG. Il correspond l'axe X ou à l'axe Y et l'axe Z. Ainsi, il y a un premier niveau de difficulté qui apparaît dans l'utilisation des SIG pour l'étude d'une paroi, car les plans bidimensionnels traditionnellement mobilisés ne sont pas les mêmes. Pour mobiliser les SIG dans l'étude d'une paroi, il faut donc inverser les axes de visualisation.

Le 2,5D : À mis en chemin entre le 2D et la 3D, le 2,5D désigne un système intermédiaire de visualisation des profondeurs. Les principaux logiciels de SIG permettent d'afficher ce type de visualisation. Il s'agit d'afficher la hauteur d'un élément à partir d'une valeur donnée. Seule une unique valeur Z est prise en compte. Dans ce cas de figure, des bâtiments peuvent par exemple être extrudés selon une valeur donnée. Quand on parle du 3D dans les systèmes d'information géographique, il s'agit en réalité de ce type de visualisation. Une scène à la surface de la Terre dans lequel la forme topologique a pu être extrudée. Le 2,5D est donc adapté à la visualisation de forme vectrice simplifiée ou de modèle numérique de terrain. Dans ce cas de figure les cellules du raster sont positionnées à leur valeur d'altitude. Les couches vectrices peuvent également prendre appui sur ce raster. Le 2,5D est donc adapté pour l'affichage des reliefs de type montagne, mais ne peut prendre en compte des reliefs complexes comme les corniches ou une paroi de grotte qui contiennent plus coordonnées Z sur un même axe X/Y. Il s'agit donc d'une des limites du 2,5D qui permet que partiellement de traiter la visualisation 3D.

Le 3D : le 3D est un mode de visualisation qui vise à se rapprocher de notre propre réalité. Les effets de profondeurs sont ainsi simulés de manière antagoniste à notre réalité. Les techniques de photogrammétrie et la lasergrammétrie permettent notamment de générer des modèles 3D qui sont de véritable reproduction du réel dans les mêmes proportions. Ce type d'environnement tant à aujourd'hui être privilégié en archéologie et s'ancre dans les pratiques de terrain. Bien qu'il soit aujourd'hui disponible à travers des techniques exposées, ce type de visualisation n'est pas encore toute faite compatible avec les SIG qui se construisent avec des visualisations aériennes. Aujourd'hui les méthodes relationnelles entre le 2D et 3D

tendant à se développer par techniques multipatch implémentation d'objet complexe dans les SIG et évolue également au travers du BIM et des solutions vectorielles. Ces techniques restent des solutions ponctuelles et la fluidité de navigation est réduite. Ce type d'environnement ne permet pas de prendre en compte toute la complexité des volumes et des formes. À l'échelle de l'étude de l'art pariétal, le 3D est incontournable, car il permet de comprendre et de restituer toute la mécanique de composition et utilisation des reliefs pariétaux. Ainsi tout l'enjeu est alors d'appliquer les moyens d'étude des systèmes d'information géographique dans un système 3D.

ANNEXE 3 – Visualisation de l'interface GeoData Chauvet.



ANNEXE 4 – Grille et retranscriptions des entretiens.

Questions/Relances posées lors des entretiens

- 1.- Pouvez-vous me présenter votre spécialité ?
- 2.- De manière générale comment procédez-vous à la collecte de données, avez-vous des supports de travail spécifique ?
- 3.- Comment analysez/restituez-vous le résultat de vos études ?
- 4.- Depuis le début de vos études universitaires, vos méthodes d'étude ont-elles évolué (de quelle manière) ?
- 5.- Comment faites-vous pour travailler avec vos collègues d'autres disciplines, partagez-vous des méthodes/manières de faire communes ?
- 6.- Par quel moyen échangez-vous de l'information avec vos collègues ?
- 7.- Est-ce la grotte Chauvet modifie votre manière de travailler ?
- 8.- Rencontrez-vous des difficultés ou des obstacles à la prise d'information ?
- 9.- L'informatique et les technologies numériques modifient vos méthodes de travail ?
- 10.- Dans votre champ disciplinaire, est-ce que des objets d'étude ont émergé grâce à la technologie ?
- 11.- Quel rapport entretenez-vous avec ces outils ?
- 12.- Quelle place occupe la carte/la cartographie ou même les SIG au sein de votre discipline ?
- 13.- Quelle place la carte pourrait-elle occuper au sein de votre discipline ?
- 14.- Voyez-vous un intérêt personnel à utiliser les nouvelles technologies 3D/SIG dans le cadre de votre recherche (analyse, restitution, simulation,..)?

Entretien 1

Pouvez-vous me présenter votre spécialité ?

- Je suis chercheur CNRS, ma spécialité c'est la faune et plus particulièrement les carnivores. Ma finalité est de comprendre le comportement humain par le prisme des carnivores. Je pars du principe que les carnivores comme les hommes sont des prédateurs sociaux qui partagent les mêmes écosystèmes avec essentiellement deux points communs : partager le même type d'habitat (les grottes) et le même type d'alimentation (les ressources carnées). Je cherche à identifier ce comportement humain à travers la caractérisation du comportement du carnivore en partant du principe que les carnivores sont plus abondamment représentés dans le registre archéologique et paléontologique que les vestiges d'origine anthropique. Je vais décrire ce comportement chez les carnivores et après par analogie je déduis le comportement humain.

De manière générale comment collectez-vous les données ? Quelles sont vos données brutes ?

- Cela dépend, car j'ai comme spécificité de travailler sur du temps très long, sur des sites qui sont très anciens (2,5 à 3 millions d'années en Afrique), jusqu'à des sites plus récents, voire modernes et actuels. Généralement, je vais employer les disciplines qui sont liées à l'archéozoologie : la taphonomie et la paléontologie. Je vais acquérir plusieurs types des données : des données métriques en paléontologie, je vais mesurer les os ; des données morphologiques, je vais les décrire ; des données archéozoologiques et taphonomiques je regarde l'état de surface des os, des traces, la fragmentation. Ce sont des méthodes assez classiques et prouvées depuis près d'un siècle. Je vais aussi acquérir d'autres données qui peuvent être d'ordre écologique, sur le moderne ou le particulier. Je vais prendre un cas d'étude : je suis parti il y a deux ans en Éthiopie, je me suis baladé sur une colline pour enregistrer les données néo-taphonomiques, (taphonomie de l'actuel des ossements), j'ai croisé ces données avec des données écologiques qui vont être de l'observation d'empreintes au sol pour décrire un animal, de l'observation directe d'animaux. Si j'ai repéré une niche avec en bas des os de rongeurs digérés, c'est de la néo-taphonomie et si j'observe le rapace en haut c'est une donnée écologique et je vais pouvoir associer directement les choses entre elles.

Enfin, un dernier aspect qui est justement lié aux empreintes et qui va nous intéresser dans le cadre de Chauvet, ce sont les empreintes laissées par les espèces qu'on va appeler les bioglyphes : empreintes de pas, mais aussi de crottes. Il faut être capable de les décrire morphologiquement dans l'actuel pour avoir des modèles : à quoi ressemble une empreinte produite par le carnivore a, b et c d'un point de vue morphologique et métrique pour ensuite avoir des données de comparaison. C'est tout à fait comparable avec ce que l'on fait sur l'os, mais sur du registre fossile en ichnologie, c'est une discipline finalement assez marginale.

Comment enregistrez-vous les empreintes actuelles ? Quels outils utilisez-vous ?

- J'utilise le support papier pour les notes. Mais pour un gain de temps et c'est lié aux techniques actuelles, je fais beaucoup de photographies pour avoir la morphologie et des modèles 3D. On sait par exemple, que lorsque l'on marche dans du sable ou dans de l'argile, on ne s'enfonce pas de la même manière, ce n'est pas la même empreinte qui apparaît. Je vais aussi tenir compte des distances entre les empreintes quand il y en a plusieurs. Je vais ainsi décrire le train de marche ou de course car cela traduit un comportement. J'associe une observation classique macroscopique que j'essaie de pousser plus loin avec des acquisitions de données photographiques traitées a posteriori sur l'ordinateur. Les mesures ne se prennent pas directement *in-situ*.

Comment organisez-vous ces nombreuses observations photographiques, prises de notes sur le papier ?

- Le but du jeu est de croiser cela, ce qui rend les choses complexes. Croiser l'actuel sous-entend croiser à la fois les données écologiques, les animaux en présence qui sont physiquement vivants et les animaux morts caractérisés par les restes osseux que l'on cherche à rapprocher de ces espèces vivantes. Je me demande « qui a mangé quoi ? ». Je croise alors ces données comportementales avec les empreintes, elles vont décrire des espèces de circulation. C'est ce que j'avais observé en Éthiopie sur une petite colline entre un secteur qui est occupé par des hyènes et un secteur occupé par des porcs-épics. J'ai observé des couloirs de passage et des observations taphonomiques qui avaient été faites sur des os. On voyait que le porc-épic a priori avait dû venir du côté des prédateurs récupérés des os, les avait ramenés et grignotés. Nous nous retrouvons avec des os qui ont des successions de traces, un peu comme sur les parois à Chauvet où on observe des successions de peintures puis de griffades. Sauf que là on observe, une trace de dents, plus une trace de dent de porc-épic, et de vrais couloirs de passage avec des empreintes de porcs-épics-qui vont dans un sens et qui reviennent – et des traces de carnivores. Après je croise ces données pour essayer de modéliser un écosystème, pas uniquement d'un point de vue écologique comme le ferait un écologue actuellement.

Comment analysez-vous ces résultats ? Utilisez-vous les statistiques ? Sous-quelles formes les restituez-vous ?

- Il y a plusieurs niveaux échelles. On peut vraiment avoir une description basique : je me balade avec mon GPS et je note toutes les observations avec une codification et ensuite j'observe une distribution spatiale. Par exemple sur une colline de 400 m par 400 m, j'ai repéré un secteur avec de petites grottes occupées par de grands carnivores, des hyènes. Dans un autre secteur, en lien avec la topographique, je note des falaises, puis des failles, ce sont des rapaces qui les occupent et il doit y avoir des os de rongeurs. Puis dans un dernier secteur, une grande grotte est occupée seulement par des porcs épics. C'est une première vision très descriptive, mais qui est réaliste. Ensuite on peut essayer de croiser cela avec des statistiques, on fait

appel à toutes les données quantitatives et qualitatives pour essayer de modéliser d'un point de vue mathématique.

Comment restituez-vous ces données dans les publications ?

- Pour l'Éthiopie, je prépare un travail qui n'a jamais été traité réellement. Ma première publication sera présentée lors d'un colloque en juin, ce sera très descriptif. J'observe, je sectorise parce que je croise ces données taphonomiques et écologiques et en plus de sectoriser j'explique que ces secteurs s'entremêlent, c'est une espèce de zone d'interface. La finalité est de créer un modèle pour dire que dans un site fossile on n'a jamais qu'un seul et unique agent. En particulier, à Chauvet on sait que l'agent anthropique vient peindre et fait des feux. L'agent carnivore qui vient, qui se balade et qui meurt c'est l'ours. Un autre agent carnivore qui pose question c'est le loup. Le but du jeu c'est de sortir de ce carcan pour de nombreux sites où l'on cherche à fédérer un agent à une accumulation. Souvent, dans les sites archéologiques paléolithiques, on a tendance à dire (pour le paléolithique supérieur) que ce sont quasiment que des sites anthropiques sauf qu'écologiquement ce n'est pas juste. On a des hommes certes, mais il y a aussi d'autres animaux qu'on oublie parce qu'ils sont tout petits : ce sont les renards. Si on a des hommes qui exploitent un renne et qui jettent des déchets, le renard sera présent pour voler ces déchets. Le but du jeu ce n'est pas de complexifier le modèle, mais de le rendre plus réaliste. Il y a une logique écologique que nous avons tendance à oublier. Il faut sortir de l'objet classique où l'on a toujours prôné « l'homme pour l'homme » or il est dans un milieu qui est complexe et on ne peut pas dire simplement en regardant un site « tiens 80 % du m² présentent des cutmarks donc c'est obligatoirement de l'homme » non, ce n'est pas tout à fait vrai. Nous avons tendance à extraire beaucoup de modèles. Par exemple pour un site magdalénien où l'on mange à 80 % du renne, on va regarder ces éléments squelettiques et on va dire « Tiens ils ont essentiellement manger les pattes avant », sauf que nous avons des traces de carnivores et du renard. Et il y a peut-être un biais dans l'analyse au modèle établi, car le renard est peut-être venu chiper tous les fémurs. Et le modèle n'a plus de sens.

Dans votre travail, l'observation et l'analyse des données semblent assez instinctives ?

- Instinctif ça peut être le terme effectivement. J'ai tendance à dire que c'est une question de logique écologique. Ça marche n'importe où, même en ville : actuellement on a des renards qui viennent chiper dans les poubelles, ils prélèvent des choses et si ça se passe actuellement, il y a plus de chance que cela se passe dans un milieu beaucoup plus naturel. On utilise la logique écologique dans ce que l'on fait.

Comment vos méthodes de travail sur la faune ont-elles évolué, depuis le début de vos études ?

- Au début j'ai travaillé essentiellement sur de la taphonomie sur de l'os et des traces. Pendant ma thèse, je me suis dit que pour comprendre le régime alimentaire et le comportement d'un prédateur, j'avais besoin de connaître ce prédateur, d'être capable de l'identifier. J'ai commencé à faire de la paléontologie. Pendant ma thèse, je travaillais sur une période longue de 100 000 ans. Travailler sur une même espèce, mais sur 100 000 ans, on sait qu'il y a de nombreuses variations climatiques et environnementales. En plus, je commençais à identifier des variations comportementales d'après les restes des proies, donc on pouvait supposer des variations morphologiques, métriques, etc. Et je voulais croiser les choses. J'ai croisé la taphonomie et la paléontologie c'est une démarche que j'ai faite moi-même. Après la thèse, je me suis intéressé aux problématiques modernes, j'ai injecté des modèles, des observations plus d'ordre écologique et maintenant je travaille aussi sur le champ ichnologique. Je me suis rendu compte que je ne pouvais pas aborder les choses de manière comparable à l'os. Je vais utiliser la 3D entre autres, je me rends bien compte que je n'ai pas d'autre choix pour extraire de la donnée que d'utiliser cet outil technique. Sinon je pourrais faire ce qu'on faisait à l'ancienne, mais uniquement pour le registre actuel, c'est la réalisation de moulages, un objet physique que l'on peut manipuler et mesurer, mais c'est hors de question de faire cela à Chauvet.

Pourquoi la méthode du moulage n'est-elle pas utilisée ?

- Dans les contextes paléolithiques, nous ne réalisons pas des moulages pour des mesures conservatoires, nous ne touchons plus au sol. En réalisant des moulages, on détériore les choses, on utilise des produits même si ce n'est que du plâtre, on risque de détruire le sol. À Chauvet nous cherchons à préserver au maximum les choses. Encore une fois, c'est le même principe que la fouille : fouiller c'est détruire. Donc si on pratique les moulages, nous risquons de détruire une information, nous évitons. Maintenant, nous avons d'autres méthodes pour pouvoir travailler « de loin ». J'essaie de me former, il y a des échanges avec d'autres pour faire de la photogrammétrie pour comprendre comment on construit un modèle 3D. J'ai beaucoup de collègues qui me vendent la photogrammétrie comme quelque chose de très facile, sauf qu'en fait, suite à la formation que l'on a faite à Toulouse je me rends bien compte que c'est facile si on suit le modèle classique, mais le résultat est faussé. Il faut que je me forme réellement.

Est-ce que cela est un besoin ?

- Oui c'est un besoin. Pour les missions que je fais à l'étranger sur du moderne, je cherche au maximum à acquérir ces données ichnologiques pour les appliquer à Chauvet. C'est le cas d'étude ici par excellence. Je me fais des jeux de photos, pour essayer d'avoir des modèles et avoir de la donnée, car nous sommes en manque cruel de données. Chauvet est un cas quasi unique à traiter d'un point de vue ichnologique. Mais dans la littérature, ce sont des écologues qui travaillent sur des empreintes et

non des archéozoologues. Il n'y a pas de données disponibles et il faut se créer le corpus. Et pour se créer le corpus, nous n'avons pas d'autres choix que d'utiliser de nouvelles méthodes pour acquérir de nouvelles données.

Est-ce que vos méthodes d'études sont communes, à celles de vos collègues paléontologues, à d'autres disciplines ?

- Les méthodologies sont communes quand je travaille avec mes collègues spécialistes de la faune. Nous avons un background commun après inmanquablement il va y avoir des différences. C'est un sujet récurrent entre nous qui est lié à notre propre expérience. On travaille sur des sites communs, mais on a aussi observé des choses différentes. Même si on utilise les mêmes méthodes, les discussions vont à un moment donné, non pas s'affronter, mais essayer de se compléter. On doit créer un échange, mais c'est dans le cas où l'on travaille sur un même objet : l'os par exemple.

Après, ça devient un peu plus compliqué quand on allie toutes les disciplines. Quand on dirige un site et que l'on doit composer avec des faunistes, des lithiticiens, des géologues, des karstologues, des géomorphologues ça devient un peu plus compliqué. Dans le sens où on doit déjà avoir un minimum de notions du travail des autres, de leur champ disciplinaire. Il faut avoir une idée de ce que l'on recherche parce que quand on fait intervenir un géologue sur un site, on le fait intervenir pour qu'il nous aide à répondre à une question. Moi quand je travaille sur un site j'ai un matériel faunique que je suis capable d'analyser qui va me dire que j'ai peut-être des niveaux différents dans la chronologie sédimentaire. Quand je suis face à la coupe c'est un peu compliqué de dire, qu'il y a deux niveaux différents, je vais pressentir des choses et après je fais appel à certaines personnes qui vont avoir les compétences pour essayer d'affiner les choses pour me dire si j'ai raison ou si j'ai tort et après on discute. Et ça peut être compliqué, car cela demande un travail des discussions et de la pédagogie. Il faut par exemple que j'explique clairement la question posée, mes pressentiments et la personne en face, qui va avoir une discipline complètement différente, doit aussi faire cet effort de pédagogie. Moi par exemple, la géomatique ce n'est pas une discipline que je connais et tu le fais naturellement, tu m'expliques les choses de manière pédagogique. Par exemple lorsque je travaille avec Monsieur A., il aborde les choses d'un point de vue statistique et d'un point de vue mathématique. Je ne suis pas statisticien et il va m'indiquer le type de tests statistiques à utiliser. Mais j'ai besoin de comprendre comment on applique cette méthode et son intérêt. Et là ça devient compliqué parce qu'on est sur une discipline très différente quand il commence à expliquer un test statistique soit faut s'accrocher soit il faut le faire répéter. Il faut sortir de sa zone de confort et on s'enrichit avec le contact des autres disciplines, c'est très formateur. On ne connaît pas tout et vu le nombre de disciplines qui est réuni à Chauvet on apprend tous les jours.

Par quels moyens échangez-vous les informations avec vos collègues ? Est-ce par des tableurs de données, via des mails ?

- Dans mon cas, ce sont beaucoup de discussions, souvent en direct, j'acquiers mieux l'information de cette façon. C'est la première étape. La deuxième étape ça va être de discuter sur la table avec de la donnée entre les mains.

Quels types de données par exemple ?

- Quand je fais intervenir un sédimentologue, je vais avoir mon jeu de données fauniques que j'ai croisé avec du spatial. Je vais avoir un niveau où je vais avoir plein de hyènes puis le niveau d'en dessous je n'ai pas de l'hyène, j'ai un autre taxon. Je vais me demander si d'un point de vue déjà archéologique au moment où je fouille je vois une différence et si je fais une projection spatiale, je regarde si cette différence est avérée. D'un point de vue sédimentologique, je vais demander à mon collègue s'il observe des choses qui vont pouvoir corroborer mon hypothèse. Il va me présenter ces jeux de données qui vont être des descriptions de coupes stratigraphiques, sédimentologiques. Il va demander si de mon côté j'observe ces changements sédimentologiques de telle cote à telle cote. Nous regardons si nos données correspondent et après il va m'expliquer ce contenu sédimentaire. Il va me parler de la dynamique : est-ce qu'on a des limons ? Des lœss ? Des sédiments cryoclastiques qui répondent à des dynamiques distinctes ? Au final, on va faire une hypothèse plus fine qui prend en compte le contenu des sédiments et comment ils se sont déposés en grotte. Si on a du cryoclastique ce n'est pas la même interprétation que si ce sont des dépôts en lœss : on a des sédiments éoliens d'une part et d'autre part des sédiments qui sont sûrement liés à l'éclatement de la paroi liée aux phases de gel et dégel. Ce n'est pas du tout la même dynamique. On part d'un postulat lié à son approche puis on compare avec l'autre qui a une approche différente. Et on fait émerger deux constats propres vers une hypothèse.

Est-ce que le fait de travailler à Chauvet a impacté vos méthodes de travail ?

- À Chauvet on a une réelle complexité. Encore une fois le paléontologue, le taphonome ont l'habitude de toucher, de manipuler, de tourner les choses dans tous les sens, il y a une facilité pour identifier les choses, pour observer. Là, on doit regarder les choses de loin, on ne peut pas toucher, on touche avec les yeux. C'est une première barrière à franchir. Mais cela a quand même un avantage : comme tout est in situ, on essaie de dégager une vision d'ensemble. Dans l'éboulis avec tout le matériel on peut faire une liste et dire « il y a de l'ours, du léopard, etc. » on en est déconnecté du terrain, cela n'a plus de sens, on a perdu l'information. À Chauvet, c'est tout le temps en place. De jour en jour, on observe des choses différentes, le regard s'affine. C'est à la fois compliqué parce que c'est très différent comme approche, mais en même temps c'est extrêmement intéressant. Je pense que notre esprit est encore plus en ébullition, car on ne touche à rien, cela reste en place : on a l'information os et l'information contextuelle intacte. Quand on fouille un site, on a un peu des œillères, la tête dans le guidon, on voit des choses et quand on les reprend une

dizaine d'années plus tard, après avoir travaillé sur d'autres choses, on oublie une partie de cette information contextuelle. À Chauvet, ça ne va pas bouger. Dans 10 ans, bien sûr il faudra se rafraîchir la mémoire, mais le regard aura évolué et on verra de nouvelles choses, à chaque fois on voit de nouvelles choses.

A Chauvet la prise de décision ou du moins l'interprétation en termes de lecture des distributions est-elle plus rapide ?

- Quand on fouille, on retire de l'information, on perd cette information contextuelle. Il y a un travail quasiment automatique de chercher une interprétation au moment où on fouille. Quand je fouillais aux Auzières, j'ai vu une différence de niveau et ce n'était plus les mêmes espèces, le même état de surface. Mais cela je l'ai vu au moment où je fouillais. Et je suis obligé de faire cet effort, car si je ne le fais pas tout est perdu. De plus aux Auzières contrairement à Chauvet ce sont des microsursfaces, 4 m²... 6 m²... nous ne sommes pas dans la situation d'un grand site où on peut faire un grand décapage, laisser en place pendant trois jours et observer s'il y a une organisation. À Chauvet c'est une vision intacte, ce contexte ne bougera pas. Et si on avait la chance de pouvoir faire cela sur tous les sites, ce serait le top !

Est-ce que les technologies numériques modifient ta façon de travailler ?

- Je suis jeune, mais je ne suis pas un fondu du numérique. Toutefois je ne pourrais pas m'en passer, ce n'est pas possible, on travaille sur des jeux de données de plus en plus importants et on ne peut pas traiter toute l'information. Par contre, je ne maîtrise pas encore parfaitement les données type 3D ou autre. En ce qui me concerne, quand je travaille sur de la donnée ostéologique ou taphonomique, avant de passer par l'informatique, j'écris. Je fonctionne comme cela, j'écris beaucoup. Toutes mes bases de données numériques, je les ai également au format papier, j'ai des tableaux partout. C'est ma manière de travailler. Quand j'écris, je commence déjà à interpréter, car je vois les choses, je les visualise. L'informatique me permet de les confirmer. L'informatique me permet aussi tous les traitements statistiques. Souvent ces traitements sont là pour confirmer un pressentiment : je vois de la donnée, je vois des chiffres, je vois des tableaux, et je vois des choses qui me questionnent. Je tiens compte de mes données contextuelles, je vais avoir une sorte de pressentiment et je teste. Soit je me suis trompé et j'avais peut-être des œillères à un moment donné, car j'avais une idée en tête une hypothèse ad hoc qui m'a mal orienté. Soit effectivement cela vient confirmer ce pressentiment. Mais je ne peux pas me passer de l'informatique. De toute façon quand nous avons un jeu de données important -on le voit pour l'éboulis, car il y a tellement de matériel aussi bien dans le spatial que dans la distribution squelettique - qu'à un moment donné il va falloir le traiter via l'informatique pour avoir une vision presque mathématique des choses. Combien y a-t-il d'humérus d'ours ? Qu'est-ce que cela représente en termes de population ? Est-ce qu'on peut essayer de parler de chronologie avec tout cela ? Encore une fois nous pouvons avoir un feeling, mais à un moment donné le numérique est là pour te faciliter la tâche. Il permet de

synthétiser les choses, mais il ne permet pas de trancher. Je distingue le résultat qui va être un résultat numérique statistique et l'interprétation que nous allons en faire et qu'est-ce que ça apporte ?

Mobilisez-vous la cartographie dans votre champ disciplinaire ? À quoi les cartes sont-elles dédiées : localisation de sites, etc. ? Les cartes sont-elles présentes dans vos publications ?

- Nous utilisons plusieurs types de cartes : par exemple si nous publions sur les sites moustériens d'Ardèche, nous aurons une carte géographique de localisation des principaux sites moustériens dans le Sud-Ouest de la France ; ce sont parfois des plans topographiques de site ; des cartes de dispersion des restes osseux. Il y a toute une diversité des choses cartographiées, mais je pense qu'une importante partie des cartes est sous-utilisée. Par exemple la carte géographique pour localiser les sites est très illustrative c'est pour dire « tiens regardez il y a plein de sites » je caricature à peine. Alors qu'avec une carte, après avoir fait le tour de la littérature et après avoir récupéré toutes les données des sites, je pense qu'on peut aller beaucoup plus loin que simplement présenter une carte avec des noms de sites. Mais en rajoutant de la donnée par exemple chronologique, du spectre phonique, etc. Dans beaucoup de cas, la carte reste illustrative. Et je suis presque sûr que c'est ce nous ferons nous aussi dans l'étude de l'éboulis, parce qu'on n'est pas plus intelligent que les autres. Quand nous aurons tout identifié, on va sûrement proposer une carte de répartition du matériel. Après la question qui se pose c'est qu'est-ce qu'on va en faire ? Il ne faudra pas simplement illustrer, dire « regardez il y a plein de matériel » il va falloir qu'on aille plus loin. Il faudra sûrement faire appel à d'autres outils pour traiter cette information-là. Mais des cartes nous en avons tout le temps et je pense encore une fois qu'elles sont sous-utilisées, vraiment. Nous prospectons autour des Auzières, en repointant des sites connus. Pour l'instant on est à l'étape presque d'inventaire, notre cartographie présente plein de sites, mais il faudra voir ce qu'on extrait.

Les SIG sont-ils utilisés en paléontologie ?

- Nous voyons différents types de SIG depuis quelques années. Les SIG par exemple pour les cartes géographiques, mon collègue aime bien travailler avec ces outils là quand on va prospecter et qu'on va chercher les sites. Mais depuis une dizaine d'années nous utilisons les SIG de taphonomie, des SIG sur os, c'est je pense assez mal exploité et sous-exploité. J'ai un collègue qui fait ça avant quand on répertoriait des stries de boucherie, nous avions un schéma d'os puis on redessinaient où étaient les stries ou la forme des éclats. De plus en plus les SIG d'os sont utilisés. Ce que je regrette c'est le résultat c'est-à-dire « regardez il y a une occurrence de trace à tel endroit plutôt qu'à tel autre, alors ils ont préférentiellement découpé l'os de telle manière plutôt qu'une autre ». Je sais que les SIG sont des outils très puissants et je pense que nous pouvons aller plus loin et nous faciliter la tâche. Mais je suis très critique, j'ai un exemple en tête. Il y a plusieurs dizaines d'années il y a

un papier qui est sorti d'une collègue américaine qui travaille sur les loups. Elle a donné à manger des os à des loups et à récupérer ce qu'il restait. À moment donné, elle met une planche photo où il y a les différentes phases de l'os et elle a rajouté un SIG où il y a des portions osseuses et les traces. Et donc en observant le profil complet de l'os, on voyait qu'il y avait des traces au milieu de l'os, mais jamais sur les extrémités. Et donc elle dit « c'est bizarre les loups mangent que la partie au milieu ». On se dit que c'est assez étonnant, car les extrémités sont des parties riches en tissu spongieux. Puis après en tournant la page, on voit la planche photo qui va avec et là on ne voit plus que des cylindres et on réalise que c'est normal qu'elle n'y ait pas de traces au niveau des extrémités, car ils les ont mangées. Donc on se dit qu'elle utilise un bel outil, mais en fait elle s'est tellement déconnectée de son objet, de l'interprétation qu'elle est complètement en dehors du sujet. C'est le problème du numérique, il y a une diversité d'outils, des outils extrêmement puissants et beaucoup de gens qui veulent les utiliser pour faire bien ou pour soi-disant se faciliter la vie et de ce fait il semble se déconnecter de leur objet. C'est souvent lié à un système actuel où on est dans une communauté très riche, nombreuse, avec beaucoup de disciplines, beaucoup de gens travaillent dans leur coin et font leur truc à eux. On utilise mal les outils. Encore une fois je n'ai pas été formé à utiliser du SIG, je serais bien embêté si tu me disais d'aller faire SIG. Aussi je ferai appel aux gens qui savent pour en discuter.

Est-ce qu'actuellement vous avez un intérêt personnel à mobiliser le 3D et les SIG pour des problématiques de recherche, pour l'analyse, la restitution voire de la simulation ?

- Pour la simulation pas encore, mais il faudra l'envisager en particulier pour l'ichnologie. La 3D et le SIG sont utiles : la 3D pour l'acquisition de la donnée parce que nous n'avons pas d'autres moyens de le faire et je pense quand bien même on pourrait le faire de manière physique on n'aura pas une donnée aussi précise que via un outil 3D. Le SIG va nous être utile pour pointer les traces, mais pas uniquement pour parler de dynamique, on l'a évoqué ce matin avec les pistes, les orientations des pistes, peut-être prédire des points de passage les endroits à Chauvet qu'on ne peut pas voir. Je pense que si on s'amuse à regarder toutes les photogrammétriques qui ont été faites on va peut-être avoir une zone A avec des empreintes, une zone B qui aura été bien faite en photo avec des empreintes et un secteur milieu où on n'a pas pu accéder et peut-être on va pouvoir prédire des points de passage et relier les choses entre elles. Donc il y a un côté analytique et pas uniquement le fait de pointer et de dire « il y a des traces ». Par contre le côté prédictif, ce serait bien de le faire à la lumière tu vois quand on a des secteurs comme les mammoths raclés avec la piste de loups en dessous, cela serait bien de voir si on peut prédire la poursuite de cette piste qui passe sûrement sous la calcite. Je pense qu'il y a moyen de faire des choses, mais c'est à plus long terme. Il faut déjà se familiariser pas forcément avec l'outil

parce qu'on va le faire avec vous, mais avec cette donnée qui est nouvelle même si à la fin on a un tableau de mesure, la donnée n'est pas acquise d'une manière naturelle

Est-ce que le numérique impacte vos méthodes de travail ?

- On se retrouve à la fin avec les mêmes choses, avec le même tableau, mais le fait d'acquérir cette donnée-là, de cette manière-là via le numérique moi en tout cas je n'aborde pas tout à fait les choses de la même manière. Même si dans l'absolu, on peut se dire que c'est comme si on avait un pied à coulisse numérique. On aborde les choses d'une manière peut-être un peu plus déconnectée de l'objet, mais dans le cas de l'ethnologie en particulier ce n'est peut-être pas plus mal de s'en éloigner un peu pour vraiment le saisir. Sur le terrain c'est évident ce n'est pas la même dynamique, l'empreinte ne va pas avoir la même mesure, le même impact parce qu'on a un côté plus argileux la pâte elle s'est enfoncée, de l'autre c'est un peu moins humide. C'est une autre manière d'aborder les choses. La donnée, n'est pas plus différente que de mesurer un os avec un pied à coulisse, au final, mais l'acquisition étant différente je pense que le regard lui-même sera différent. Le tableau sera le même, mais on ne va pas l'aborder de la même manière. Dans cette logique comme je l'ai expliqué j'écris mes données, je commence à avoir une vision c'est un automatisme après il faut créer un nouvel automatisme parce que je ne vais pas passer par le papier. Pour moi, c'est un peu nouveau, c'est un peu bizarre, je vous montrerai à quoi ressemblent mes carnets de notes, vous verrez.

Entretien 2

Pouvez-vous vous présenter ?

- Je suis enseignant chercheur à l'université de Bordeaux rattachée à PACEA et dans la grotte je fais de la géoarchéologie, c'est-à-dire que j'étudie plus particulièrement, en relation avec mes collègues ce qui concerne la genèse et l'évolution des états de surface des sols et des parois.

Qu'elle ait votre spécialité ?

- Je suis géoarchéologue. J'ai une formation, en géosciences en géologie et ensuite je me suis spécialisée la dernière année d'université, j'ai un DEA en archéologie. C'est au cours de ma thèse que je me suis spécialisée dans les grottes, le sujet a porté sur la genèse des sédiments en entrée de grotte. Quand j'ai commencé à travailler avec Monsieur A. sur la grotte Chauvet, on a développé des recherches sur la question des taphonomies des sols et des parois.

Comment collectes-vous vos données ? Avez-vous des supports de travail spécifique que ce soit en grotte ou ailleurs ?

- Depuis les recherches sur Chauvet, on a le support cartographique, c'est important. On utilise à la fois le fonds topographique ; tous les documents qui sont extraits du relevé 3D (les fonds ombrés ; les orthophotos). Ce sont des supports qui nous servent en tant que support. On utilise le concept de la cartographie pour reporter nos observations, nos données. Ce qui se traduit par des symboles et des codes de couleur pour représenter ce que l'on voit avec une partie interprétative, déjà sur la carte. Et ensuite je travaille beaucoup en description, en observation, c'est la base du travail. D'ailleurs on commence même par ça : par l'observation, la reconnaissance, la compréhension. Puis on va vers l'enregistrement du type cartographique ; photographique, et 3D bien sûr. Enfin on a tout ce qui relève de l'analyse : soit à partir de prélèvements (on fait comme l'on veut quand on est sur des sites extérieurs ou en entrée de grotte et qui sont nécessairement parcimonieux dans les grottes ornées et soumis à autorisation. Plus particulièrement dans les grottes ornées, on travaille avec des méthodes d'observation et d'analyse in situ non vulnérables ce qui complète les outils que l'on met en œuvre. Donc avant de prélever il faut observer, il faut comprendre. À partir des questions qui sont soulevées par les discussions avec les collègues des autres spécialités, on va décider d'un plan d'analyse, de prélèvements, pour aller vers cette analyse que l'on a déjà identifiée. Ça ne veut pas dire que l'on couvre toutes les questions, mais de toute façon il faut un fil conducteur.

Est-ce qu'à l'extérieur c'est la même démarche ?

- C'est exactement la même démarche sauf qu'en grotte il y a cette spécificité : on ne peut pas prélever tout ce que l'on veut, comme l'on veut ... nous ne sommes pas dans un monde idéal, avec peu de lecture stratigraphique. Nous travaillons sur des choses plus ténues, des échantillonnages moins nombreux, plus petits. L'échantillon dépend de ce qui est sur le sol. Par exemple là j'ai demandé des fragments qui étaient déjà désolidarisés. Ça veut dire qu'il faut trouver à un endroit nommé le fragment qui correspond à ton besoin et qu'il faut apporter de la passerelle ... et que tu puisses attraper facilement... donc ça contraint.

Est-ce que ce sont des contraintes spécifiques aux grottes ?

- Oui, car sur un autre site nous pouvons prélever des grandes quantités pour faire de la micromorphologie. Évidemment il y a une discussion avec l'archéologue de l'emplacement parce qu'il a un impact sur les coupes stratigraphiques donc parfois il te dit parfois « Moi l'année prochaine j'aimerais fouiller là, donc est-ce que tu peux décaler un peu plus à droite, un peu plus à gauche, mais en tout cas on n'y va quoi, on prélève ! On n'est pas contraint comme à Chauvet où ce sont des petites choses, avec le moins d'impact possible. Alors sur la stratigraphie du grand soutirage par exemple on a pu prélever plus facilement parce que c'était en stratigraphie et c'était moins sensible, par rapport au sol où on a toutes les empreintes d'ours et d'hommes.

Est-ce que par rapport à la fin de vos études, les méthodes de travail ont-elles changé, ont-elles évolué ?

- Oui et non. Je dirais que la démarche reste la même, ce sont les outils qui sont différents. Par exemple, tout ce qui relève des outils de 3D c'était totalement inconnu, les méthodes d'analyse in situ aussi, les portables. La microscopie in situ n'existait pas, moi j'ai maintenant du matériel qui me permet d'avoir une observation à fixe sur le terrain. Et ça n'existait pas du tout. Donc c'est sûr, ça permet d'aller plus loin sur le terrain.

Ces méthodes de travail permettent-elles d'affiner des résultats.

- D'affiner les observations et de recueillir des données qui permettent déjà de réfléchir sur le terrain, de prendre de l'avance. Par exemple, par rapport à certains faciès de paroi mondmilch on ne peut pas le caractériser, l'identifier à l'œil nu. Mais avec fois X 300, c'est suffisant pour nous de dire cela en est ou cela n'en est pas ce qui va conditionner les prélèvements et le raisonnement. Donc cette donnée collectée sur le terrain, elle va conditionner les phases qui viennent ensuite.

Est-ce un gain d'efficacité, un gain de temps ?

- C'est efficace, c'est un gain de temps et c'est surtout moins vulnérable pour la grotte. Nous saisissons tout de suite à quoi nous avons à faire. Sinon il faut prélever..., ensuite il faut aller au laboratoire... il faut faire l'analyse... et quand tu as

le résultat il te faut t'entendre dire que tu reviennes huit mois plus tard ! Donc si nous pouvons avoir cette information, même si elle n'est pas forcément de la même qualité qu'en laboratoire, oui, c'est un gain de temps.

Comment dialoguez-vous avec vos collègues des différentes disciplines ? Ce dialogue s'effectue-t-il sur le terrain ?

- On sait à peu près sur quoi travaillent les uns et les autres. À un moment donné, le dialogue se fait soit en aparté, soit en réunion d'équipe. Par exemple en réunion d'équipe, j'apprends que les collègues faunistes veulent démêler cette histoire d'empreintes, de canidés et d'hommes. Est-ce que ces empreintes dans la galerie des Croisillons sont contemporaines, non contemporaines, est-ce qu'ils étaient ensembles, etc., etc. ? Je comprends qu'ils travaillent sur la surface du sol et eux savent que je m'intéresse à ce travail et donc à un moment donné on va se parler. Et ça émerge comme ça. On organise des moments de discussions en dehors de la grotte et on débroussaille, ainsi je comprends mieux ce qu'ils cherchent, ce qu'ils attendent de moi et vice versa. Nous fixons les idées de cette façon. Ensuite nous allons sur le terrain, et commençons à discuter. Nous croisons les données ce qu'ils savent, ce que moi je sais déjà, et nous commençons le questionnement. Des questions que je ne me serais pas posées si je n'avais pas discuté avec eux. On construit petit à petit comme ça. À la fin de la discussion, ils vont creuser dans une direction : acquérir de nouvelles données, ou voir si les données répondent aux questions que l'on se pose. Et moi si je manque d'informations sur telle ou telle chose, je vais donc aller chercher ces informations-là.

Est-ce que vous vous retrouvez sur des objets d'étude communs, sur des localisations ?

- Nous nous retrouvons sur des questionnements. C'est par exemple la question de la chronologie, elle est importante et il me semble que c'est le cœur du sujet à Chauvet, La chronologie homme/animal ; la chronologie à l'intérieur de la fréquentation humaine. Comment tout ça s'articule-t-il ? Quels sont les phénomènes géologiques qui sont intervenus ? Comment les phénomènes qui ont des imputations taphonomiques s'insèrent-ils dans cette chronologie qui est assez longue ? Et à certains moments, il va y avoir certains phénomènes qui se passent. Ils vont peut-être permettre de dire que c'est un phénomène que l'on peut identifier. Je prends un exemple sur les empreintes de loup, de canidé, d'homme : imaginons qu'il y ait un phénomène taphonomique qui se produise à la surface du sol et qui donne une teinte particulière au sol, je n'en connais pas la raison. Si on s'aperçoit que cet état de surface vient sur les empreintes des loups, mais pas des canidés et pas sur les empreintes d'homme, on peut se dire qu'elles ne sont pas contemporaines. C'est l'idée, c'est comme ça que l'on peut réfléchir en chronologie relative.

La chronologie est-elle une problématique transversale à l'ensemble des disciplines ?

- La chronologie est complètement transversale. Chacun décline dans son registre, mais à mon avis, je vois mal comment on peut exploiter de manière optimale les données dans chacun de nos champs respectifs si à un moment donné on ne se cale pas chronologiquement par rapport aux autres. Je peux expliquer par exemple « Oui cet état de surface là, c'est dû à tel phénomène, c'est intéressant en soi, très bien, ça pourrait servir de référentiel pour d'autres », mais si tu ne le replaces pas dans la chronologie de la grotte, c'est vite limité comme intérêt.

Et comment articulez-vous ce type d'étude dans un article? Comment livrez-vous vos résultats d'analyse aux paléontologues et comment vous donnent-ils leur résultat ? Comment cet échange s'articule-t-il ?

- Il faut une question précise. Dans l'article, je pose une problématique et ensuite les champs disciplinaires interviennent avec leur méthodologie.

Partie par partie par exemple ?

- Méthodologiquement, oui, moi je verrai ça comme ça. C'est-à-dire qu'il y a des études fauniques ; les pariétalistes sont aussi concernés, ils ont des données ; la géologie apporte elle aussi des données. Il faut décrire les méthodes, les instruments de travail, et ensuite on fait de l'intégration c'est-à-dire qu'il faut, par rapport à la réponse qu'on livre, aller chercher les arguments des différentes disciplines et les articuler pour montrer que la réponse qu'on livre est pertinente, qu'elle est argumentée, qu'elle repose sur des choses qui sont cohérentes et solides.

Est-ce que chaque discipline a ses propres méthodologies ? A Chauvet êtes-vous seul à travailler de cette manière-là ou est-ce que les méthodologies sont transversales ? L'emploi de la cartographie est-elle seulement spécifique à la géologie ?

- Non parce que par exemple sur les sols, il n'y a pas un seul mètre carré de sol à Chauvet ou la géologie n'a pas à intervenir. Il y a des traces partout, à moment donné... l'ours ou l'homme ... il y a les charbons de bois, il a y des empreintes... Par exemple la cartographie des sols il y a l'emplacement dans la, à gauche de la marque, enfin de la marque entre guillemets je l'ai faite avec quelqu'un: je lui dis « moi, je mettrai un état de surface de sol différent », mais un moment donné il ou elle me dit « Tu vois là c'est des charbons, là c'est très blanc, est-ce que ça ne pourrait pas être des cendres ? » Je lui dis « Je n'en sais rien, mais on va le carter ». On décide ensemble ce qu'on individualise comme éléments importants à carter. On fait pareil normalement avec les parois. Avec il/elle on va travailler beaucoup ensemble parce que ça le/la passionne il ou elle a envie de faire ça. Et puis on va le faire ensemble, parfois il/elle dessine et moi je lui dis "Moi j'aurais fait comme ça". Avec il/elle ce sera

différent parce que lui il ne va pas faire de la cartographie taphonomique. Mais à un moment donné, on va discuter ensemble bien sûr.

La discussion est-ce qui va être le plus important dans la confrontation ?

- Oui parce qu'en fait il y a une lecture de la paroi, je regarde aussi les dessins, et je m'interroge quand je vois un état de surface, je me demande si c'est dessous, dessus... Et lui quand il fait son relevé, il se pose aussi ces questions. Donc on n'est pas cloisonné, chacun on prend en compte l'ensemble des données : les griffades, etc. Mais on n'est pas expert en ce domaine, on va tester la perception que l'on en a avec le collègue qui est spécialiste. Ou alors on va avoir deux façons de lire la paroi et c'est en discutant que l'on va essayer de comprendre pourquoi on a cette différence et peut-être qu'on va trouver un compromis ou rester sur nos deux hypothèses sans pouvoir trancher. Je suppose que tout le monde fait comme ça, c'est-à-dire que c'est difficile pour les faunistes s'il voit du charbon, il ne se pose plus la question de la relation. Le cœur de leur sujet c'est l'animal.

La prise en compte des autres éléments vont-ils permettre de mieux comprendre leur propre objet d'étude ?

- Oui, ils vont poser les questions.

Est-ce le travail à Chauvet est spécifique ? Travaille-t-on de la même façon dans les autres grottes ornées ?

- Avant Chauvet, j'ai travaillé dans des grottes ornées. Avec Monsieur A., je faisais un travail plutôt classique je ne travaillais pas sur les parois, mais sur les sondages. Avant Chauvet il y a eu Cosquer, c'était Monsieur B. qui était responsable. Mais à Cosquer les choses n'ont pas pu se développer comme à Chauvet parce que l'accès est compliqué. ...Il y avait déjà déjà un collègue qui était à Bordeaux quand j'étudiais en thèse. Il a fait un petit peu de cartographie, il a replacé ça dans le contexte géologique, il a commencé à avoir cette démarche. Mais la difficulté d'accès à limiter le développement des recherches. C'est à Chauvet que l'interdisciplinarité s'est vraiment développée. Mais elle n'était pas absente. Même avant Cosquer, Monsieur C. avait déjà l'idée d'étudier la paroi, les microformes, les phénomènes. Il avait déjà commencé à bâtir cette réflexion, que nous avons ensuite nommée taphonomie des parois ornées. Avec Madame A. et Monsieur D., on a porté la terminologie de taphonomie des parois ornées, mais cette idée-là elle est antérieure. C'était resté à l'état de début. Monsieur A. a travaillé beaucoup seul, ce n'était pas facile pour lui de travailler en équipe. Monsieur C. est décédé, ce travail s'est arrêté. Ce sont ensuite les études climatiques qui ont pris le relais, en termes de conservation. Et puis on a commencé à travailler à Chauvet.

Aviez-vous un modèle précis ?

- Pas du tout ! Quand on a commencé à travailler à Chauvet avec Monsieur E. et puis avec Monsieur J. on s'est demandé par quoi commencer.

Ce travail dans les grottes ornées était-il finalement novateur ?

- Oui c'était novateur, car il n'y avait rien. La cartographie des sols personne ne l'avait faite. Pour ma thèse, j'avais fait des cartes, mais ce n'était pas des cartes dans les grottes ornées. Le géologue est formé pour faire des cartes, mais pas dans des grottes ornées et à Chauvet je ne savais par quel bout commencer. Après une discussion on a commencé avec Monsieur E. Ce qui nous a permis d'avoir une relation intime avec la grotte. Nous nous sommes partagés le travail, nous avons des feuilles qui sont devenues des feuilles de bataille. On par équipe de deux ce qui nous permettait de connaître la grotte, de l'avoir en tête. Cette connaissance nous a permis d'aller beaucoup plus loin. Cette cartographie elle a été faite et ensuite nous sommes partis sur les parois.

Pourquoi cela n'a-t-il pas été fait avant ? Pourquoi c'est à Chauvet que l'on a décidé des besoins d'un géologue pour étudier la grotte ?

- Parce que je pense que c'était mûr. Monsieur B. était déjà convaincu qu'il fallait une équipe interdisciplinaire. C'est comme l'archéologie : il y a eu l'archéologie des objets avant que l'on s'intéresse à du paléoenvironnement. C'est normal. Une fois que l'on maîtrise les objets sortis de terre, on se préoccupe du contexte. Même chose pour l'anthropologie. Pendant longtemps on prenait les ossements en vrac sur le terrain et on amenait en vrac au laboratoire et on étudiait les ossements. Ce sont des anthropologues qui ont réalisé que de nombreuses informations venaient du contexte. Mais sans ce travail d'anthropologie antérieur, on ne serait pas arrivé à la conclusion. C'est bien d'étudier les ossements quand ils arrivent en vrac sur le bureau, mais il faut aussi comprendre comment ils étaient positionnés sur le site, dans quelle disposition et trouver des informations. C'est l'évolution de la discipline. Et je crois, c'est arrivé au bon moment parce qu'il avait eu Lascaux, Cosquer... et puis il y a eu aussi Monsieur A. qui a conçu et porté ce projet.

Est-ce qu'il y a des difficultés propres au travail de terrain dans la Chauvet ? Existe-t-il des contraintes inhérentes à l'étude de cette grotte ?

- Je dirai qu'elle en comparaison de Cussac, au niveau des parois il y a une plus grande homogénéité des phénomènes et des états de surface. Chauvet c'est très variable, c'est très varié, c'est très complexe que ce soit sur les sols c'est la même chose, Monsieur V. dit la même chose, on ne voit pas ça ailleurs cette quantité d'informations sur une même surface...c'est fou ! Sur les parois aussi et géologiquement c'est pareil. Si on regarde les parois, il y a beaucoup de mécanismes, il y a beaucoup d'états de surface différents. La grotte Gargas est un peu comme ça c'est une aussi une grotte complexe au niveau des états de surface. Est-ce que c'est

une contrainte ? Je dirai que c'est plutôt une richesse. Il faut réfléchir à comment on s'y prend. On se pose de nombreuses questions, mais il faut choisir, il faut rechercher la bonne question de départ pour éviter de se noyer dans les questionnements.

Est-ce une difficulté ?

- Oui, c'est tellement riche, qu'on se demande comment aborder toute cette complexité pour progresser de façon pertinente.

Les passerelles installées dans la grotte sont-elles une contrainte dans ton travail ?

- Oui bien sûr. Les passerelles c'est à la fois génial parce qu'on n'est pas contraint dans la progression. Mais il y a des passerelles ..., même si le chemin est matérialisé, il faut tout le temps, tout le temps... faire attention c'est épuisant. À Chauvet, on est tranquille elles sont suffisamment larges pour travailler. C'est le confort absolu, c'est pratiquement tout plat. La difficulté c'est quand est loin d'une paroi et que l'on ne peut pas s'en approcher. C'est une vraie limite. On discutait justement des empreintes d'animaux, si tu prends en compte toutes les surfaces auxquelles tu ne peux pas accéder, que tu ne peux pas observer, et qui sont observables. Si tu enlèves aussi toutes celles qui sont recouvertes par de la calcite récente ... il reste peu de chose et donc il y a peut-être un biais par rapport à ces données. Tu vas interpréter uniquement ce que tu es capable de voir.

J'aimerais revenir sur les outils qui vous ont permis d'affiner les données d'observation. Si on prend par exemple la photogrammétrie qu'est-ce qu'elle a apporté à votre travail ?

- La photogrammétrie pour la cartographie des sols c'est beaucoup plus précis. Quand on a fait les cartes pour l'atlas, ce n'est pas de la haute résolution... Pour les cartes de l'atlas notre support c'était la topographie. Sur cette topographie, des éléments étaient mentionnés comme les gros massifs, les gros blocs puis on estimait la distance en fonction de l'échelle de la carte et on posait les éléments.

Est-ce que c'était du papier millimétré ou des fonds que vous aviez imprimés ?

- C'était sur des fonds imprimés. On se disait « Je suis à peu près à 2 m, l'objet fait peu près 10 cm » et comme ça que l'on connaissait l'échelle de la carte, on dessinait à l'échelle. Mais c'est ce que l'on fait pour le relevé de carte en surface ! C'est normal et c'est très bien comme ça. Mais aujourd'hui sur une orthophoto ou un fonds ombré, on voit les objets donc on les dessine, on leur attribue une couleur, un figuré, tout ce que l'on veut, mais où ils sont vraiment et non pas dans une position estimée. Les cartes de l'atlas elles sont à peu près vraies lorsqu'elles sont à proximité des passerelles, mais plus c'est loin plus c'est faux.

Peut-on dire que ce travail était conditionné par les passerelles ?

- Oui complètement. Et à l'époque nous n'avions pas des éclairages comme ça. Nous avons fonctionné avec des loupiotes ! On ne voyait pas loin. Cette carte est utile, mais maintenant je dis à mes collègues : « Il faut arrêter de travailler comme ça ». On fait de l'acquisition 3D et sur ces orthoplans là commence à faire de la cartographie ont bénéficié de quelque chose qui est juste. Ce caillou on le voit sur ton relevé 3D donc il est bien là ! Tandis que si on le met sur une topographie, on va le mettre un peu à droite, un petit peu à gauche, etc. Donc cela nous a donné la possibilité de faire une cartographie beaucoup plus rapide et beaucoup plus juste.

Est-ce que l'introduction de ces outils fait émerger une plus grande précision ?

- Oui il y a deux choses il y a faire une cartographie à l'échelle de la grotte il va y avoir des zones d'intérêt sur lesquelles on va faire beaucoup plus de détails tu posais la question concernant la cartographie entre hier et aujourd'hui et bien celle de l'atlas tu as une plage de sédiments. Tandis que maintenant dans cette plage de sédiments on va dire il y a des sédiments là, il y a des charbons là des ossements là c'est noir, là c'est gris, etc. Donc on va cartographier à l'échelle de quelques mètres carrés et c'est justement ce type de fonds on ne pourrait pas faire cette cartographie de précision si on n'avait pas les outils en question qui permettent de générer une orthophotos sur laquelle on vite parce qu'on reconnaît la tâche, les ossements, etc.

En quoi cette cartographie est-elle utile, car vous pourriez vous limiter aux observations de terrain, aux descriptions ... ?

- C'est un enregistrement puis ensuite la carte permet dans la représentation spatiale de pouvoir réfléchir, de les mettre en chronologie relative. C'est-à-dire cet état de surface est recouvert par un autre au-dessus duquel des ossements sont présents, etc.. Tu racontes l'histoire même si c'est à plat tu le traduis ensuite en chronologie relative. Ce sont des supports qui peuvent être repris par exemple moi je vais le faire avec les sédiments, avec Bernard on met tout ce qui anthropique, les faunistes peuvent mettre tout ce qui est trace d'animaux et tout ça. On a donc un enregistrement de tous ces éléments et on peut discuter sur la chronologie de ce qui est important que tu restitues les résultats c'est important de montrer ce dont tu parles. Les SIG ont toute leur place pour calculer des surfaces. On a des états de sol qui se retrouve à différents endroits, tu peux faire des cartographies des états de surface en lien avec les ossements tout ça se superpose tout le temps est-ce que cela correspond à la localisation des bosses donc c'est peut-être les ours qui génèrent des états de surface particuliers. Ce que tu rentres dans le SIG c'est les calques de la carte.

Dans votre formation l'utilisation de la cartographie arrive-t-elle à leur licence ?

- Moi j'ai commencé à faire des cartes en licence, on ne commence pas avant parce qu'il faut reconnaître les objets géologiques que l'on va dessiner que l'on va reporter.

Si on ne sait pas les reconnaître ça ne sert à rien de les reporter donc il faut apprendre à reconnaître les roches les fossiles les failles, etc. et ensuite tu pourras les reporter sur une carte. Les vrais stages de cartographies se font licence.

Peut-on dire que la cartographie est complètement intégrée en géologie ?

- Complètement pour moi faire des cartes dans une grotte c'est tellement évident c'est un outil qu'on savait déjà manipuler ensuite le progrès a été sur ceux que l'on carte et le fond sur laquelle on carte.

Sur quoi réalisez-vous la cartographie ? Relevez -vous au crayon puis ensuite vous vectorisez ?

- Ça dépend de la grotte. Dans une grotte comme Chauvet on prend l'ordinateur ou même s'il y a des questions de sauvegarde. À Cussac on ne peut pas amener à l'ordinateur parce que c'est humide, on ne peut rien poser par terre. Les surfaces ne sont jamais planes ou alors il faudrait une tablette que ce soit léger.

Sélectionnes-tu l'outil en fonction des conditions de travail imposé par le lieu du lieu ?

- Oui. Par exemple à Cussac on travaille sur le papier, s'il tombe ou s'il y a de la boue dessus, ce n'est pas grave. Ou alors il faudrait des ordinateurs durcis. On peut le faire sur certaines parties où il y a des passerelles, où l'on peut mieux s'installer. Mais les passerelles sont beaucoup plus étroites qu'à Chauvet. Par ailleurs on ne peut pas se croiser.

Est-ce une perte de temps de travailler sur le papier ?

- C'est une perte de temps, car on est obligé de recopier. Mais le papier c'est toujours sécurisant c'est plus pérenne, car avec l'informatique il peut y avoir des bugs on peut perdre les relevés informatiques donc il faut faire des copies... c'est finalement peut-être plus rapide sur papier.

En informatique travaillez-vous avec Illustrator ?

- Nous travaillons avec Illustrator c'est faisable si tu dessines avec une tablette à côté tu le fais avec la souris, mais c'est moins précis. Je pense aussi que c'est une question d'habitude il faut s'adapter.

Quel rapport entretenez-vous avec les outils informatiques ?

- Le problème c'est d'apprendre en permanence avec des logiciels. Donc je n'ai pas envie, c'est déjà tellement de travail de collecter des données sur le terrain, si en plus il faut que tu maîtrises je ne sais combien de logiciels... Moi je veux bien il faut que ce soit simple. Je ne veux pas aller vers des usines à gaz. Si tu ne les pratiques pas, tu les oublies. Donc il faut se replonger. Moi il faut que ce soit utile vraiment. Toi, les outils que tu nous as faits c'est facile tu as compris commences à les faire.

Faut-il que cet apport soit concret pour vous ?

- Il faudrait que l'on ait des logiciels qui soient ergonomiques. Qu'ils ne nous prennent pas du temps à maîtriser c'est juste une question d'efficacité. Car si tu comptes le nombre de logiciels à maîtriser entre le terrain le laboratoire la production de documents ça fait pas mal ! Et il y a une multiplication de ce logiciel. Si c'est pour gagner en efficacité en rapidité, c'est très bien. Mais si c'est pour la beauté du geste, non.

C'est-à-dire pour un résultat que tu pourrais faire différemment ça ne sert à rien de se former à l'outil.

- Après comme nous on a commencé avec le papier je ne suis pas du tout stressée. Nous avons la chance d'avoir le choix. De par notre formation et comme ça nous sommes arrivés à la charnière on peut choisir par rapport à des gens plus jeunes. Peut-être que les gens plus jeunes faire des dessins à l'échelle sur des papiers millimétrés peut être que ... on continue à le faire en géologie parce que c'est important, mais enregistrer un croquis si tu n'as pas ton appareil photo pour nous ce n'est pas un problème. Je ne sais pas il faudrait demander à des gens plus jeunes comment il voit le truc.

Cela vous permet-il de vous adapter ?

- Oui je pense que les gens plus jeunes ne se rendent pas compte à quel point nous sommes obligés de nous adapter. Nous avons appris des méthodes et il a fallu tout réformer. Moi j'ai fait ma thèse c'était le début des ordinateurs. On a fait des efforts considérables énormes. On a été confrontés à l'évolution des techniques ! On a été basculés d'un monde à l'autre, il a fallu s'y adapter ! Avec toutes les difficultés que cela suppose, car il y a des limites à moment donné. C'est beaucoup d'énergie qu'on a consacrée à ces technologies.

Est-ce que vous pensiez que ces outils allaient vous aider ?

- Je ne les pratique pas pour suivre le train de la vie, ils sont indispensables bien sûr. Par exemple la photogrammétrie, nous avons été formés à cet outil, j'ai fait un peu de relevé et maintenant si j'ai un bout de sol et s'ils ne sont pas disponibles, je vais moi-même faire les photos donc petit à petit, ils me montrent comment procéder, en même temps je reprends mes notes et puis je vais rentrer dedans. C'est par le besoin que je vais utiliser l'outil.

Verriez-vous faire différemment maintenant que vous avez accès à ces outils ?

- Eh bien non ! Faire de la cartographie sur un fond de topographie simple ..non ! J'attends d'avoir le relevé 3D et que l'on me sorte une ortho photo ou un plan ...sinon non je refuse c'est hors de question clairement ! Par contre si je n'ai pas la

photogrammétrie pour une multitude de raisons parce que par exemple je suis à l'autre bout du monde je fais une carte comme ça je suis capable le faire.

Est-ce que ce cela signifierait baisser votre degré d'exigence ?

- Eh bien si on veut faire quelque chose de correct, il nous faut ce fond issu d'une ortho photo. Parce que c'est là qu'on va faire le meilleur travail qui soit. Face à des sites comme cela on ne peut pas se contenter de quelque chose d'approximatif il faut aller vers ces exigences-là. Il faut arrêter de faire des topographies de grotte qui n'ont pas fond issu du relevé 3D. Il faut arrêter sauf à ou cela est à peu près plat. Parce qu'on dépense de l'argent pour quelque chose qui est peu précis.

C'est-à-dire lorsque la topographie est faite manuellement, à cause des coordonnées qui sont prises de manière irrégulière ?

- C'est-à-dire qu'il y a des choses qui vont être placées en état relevé on ne peut pas relever toute la position des objets qui sont relevés que tu as dessiné, tu passes un temps fou. Et après ils dessinent entre ce qui est normal. Moi je ferais pareil sauf que je ne comprends pas pourquoi on fait ça alors qu'on peut avoir un support que l'on sait que tous les objets sont placés précisément il n'y a plus qu'à faire du coloriage. Et en plus ce fond là il va être utile à tout le monde. Il va être utile pour toutes les études pas seulement pour la cartographie. C'est quelque chose qui a du mal à passer auprès de mes collègues.

Pourquoi pensez-vous ça ?

- Parce qu'ils n'écoutent pas ! Peut-être que je ne le dis pas assez fort et parce qu'ils ne savent pas. Nous on a cette expérience à Chauvet, je me dis qu'au début si on avait eu ces outils-là je me dis que la cartographie comment elle serait faite. On gagne en temps, en précision. C'est comme si on continue à mettre des calques sur des parois pour faire des relevés ! Ça n'a pas de sens ! Alors pourquoi ils n'écoutent pas parce que nous on a une histoire longue sur Chauvet, 20 ans où on a vu, cette progression de techniques à tous les niveaux : les relevés, les éclairages, les analyses... tout quoi ! Donc dans une autre grotte on se sert de cette expérience-là. Et puis les collègues ne sont pas géologues.

Ils n'en voient pas l'intérêt pour leur discipline ?

- Si bien sûr, mais ne comprennent pas à quel point quand on leur livre la cartographie, c'est beau c'est joli c'est informatif, mais je pense qu'ils ne perçoivent pas la différence de précision entre deux méthodes. Il pense qu'une fois qu'ils ont la topographie c'est bon. Mais c'est dans la manière de l'obtenir ce document. C'est la méthode que tu utilises, il vaudrait mieux commencer par faire d'abord l'acquisition 3D, cela devrait arriver en amont. Un c'est l'acquisition 3D, deux on génère des projections en plan, trois on rajoute des informations sur ces projections en plan de la cartographie, des prélèvements, des photos, des observations du SIG. C'est comme

toi si tu faisais du SIG sur le modèle Perazio d'y il y a 20 ans. Moi j'ai fait une réunion scientifique au labo devant mes collègues en expliquant tout ce qu'a été la cartographie il faut arrêter de faire comme ça c'est un l'acquisition 3D. C'est comme si Gilles et Carole continuaient à faire des assemblages sur de photos.

Cette grotte a-t-elle permis de poser des protocoles de travail ?

- Je pense qu'on a pris du retard, mais c'est sûr que du point de vue de l'interdisciplinarité. Je pense qu'on n'est pas conscient des acquis que nous avons mis en place. Et les équipes ne sont pas forcément conscientes de ce que l'on a acquis du travail interdisciplinaire toutes les difficultés que ça occasionne parce que ça ne se traduit pas suffisamment dans les publications donc on a toujours vu de l'extérieur l'idée que chacun travaille dans son coin dans la grotte Chauvet. A Cussac, à Bruniquel, l'expérience de Chauvet est réinvestie. Pas totalement, mais on sent que Chauvet a été un tournant.

La 3D la photogrammétrie je ne pense pas que ce soit par le biais de Chauvet ce soit arrivé dans l'archéologie. À Cussac on a consacré de très nombreuses années à faire ces cartes c'est énorme ! Et la question que l'on pourrait se poser c'est : « et si on n'avait pas fait ces cartes. En fait qu'est-ce que ces cartes nous ont apporté ? Si on avait travaillé autrement est-ce qu'on serait arrivé au même résultat ? La question ne se posait pas par on ne connaissait pas l'outil 3D la technique 3D qui nous permette d'avoir des fonds sur lesquels on peut positionner des objets. Ça nous a apporté des éléments pour faire l'histoire géologique de la grotte. Et ensuite... avec Monsieur F. nous sommes posés les questions est-ce que ce n'est pas trop de temps investi par rapport aux données qu'on récupère ses superbes c'est joli c'est magnifique et maintenant on passe à une autre échelle par exemple à Cussac on a décidé avec Bertrand de ne pas se lancer dans une cartographie exhaustive des sols ça été commandé nous et nous ce que l'on fait c'est prendre des secteurs d'intérêt.

Cette approche macro est-elle plus utile qu'une approche une approche générale ?

- Il faut les deux, mais je ne trouve pas mal que ce soit chacun son métier. C'est bien de bonne cartographie générale qui positionne tous les éléments du terrain et puis nous nous là-dedans on aille sur des points très précis pour affiner les événements ça je pense qu'une bonne répartition des tâches. Là ont fait un SIG avec les tracks des rôles un petit peu les pariétalistes et là ça prend son sens, mais nous on a fait des calques pour dater des choses géologiques un peu comme on va faire ici.

Entretien 3

Est-ce que vous pouvez vous présenter ?

- Je suis ingénieur au ministère de la Culture, au service régional d'archéologie de la région Auvergne Rhône-Alpes. Ce qui explique mon attachement de longue date à la grotte puisque j'ai eu l'honneur de faire partie des gens qui ont expertisé la grotte en 1994 et surtout d'être intégré à l'équipe scientifique dès le départ, du premier cercle comme c'était appelé initialement. Et donc de contribuer d'une manière ou d'une autre à toutes les campagnes de recherche, mais aussi à tout ce qui a concerné d'une manière ou d'une autre la cavité : son environnement immédiat, les problèmes liés à la conservation, les problèmes d'aménagement... J'ai eu à intervenir un peu dans tous les domaines.

Quelle est votre spécialité ?

- Je suis curieux de tout, c'est dans ma psychologie, dans ma philosophie. Et puis il n'y a pas que la grotte Chauvet dans ma vie, dans ma carrière professionnelle. Il y a de nombreuses interventions que je peux faire en liaison avec les spéléologues et en particulier tout ce qui est expertise de découverte. Et en termes d'expertise de découverte un jour on va avoir par exemple des ossements humains pas forcément bon état. Il faut pouvoir les reconnaître, pas forcément les étudier, mais les identifier au minima pour ensuite orienter l'information vers des gens qui ont vocation à être plus qualifiés ou qui auront plus de temps pour les étudier. Donc cela peut être des ossements humains ou des objets en métal, des poteries ou des dessins sur une grotte qui sont plus mon domaine. Les silex taillés sont aussi mon domaine de prédilection.

Est-ce que vous êtes lithicien de formation ?

- Je n'ai pas fait d'études en Préhistoire ou en archéologie en général, mais j'ai beaucoup fouillé c'est une passion depuis que je suis gamin. J'avais des silex, je les regardais, je les triais, mon savoir est avant tout bâti sur cette passion. Puis sur dans mon métier j'ai rencontré des gens, des conditions de découvertes très variées. Et de prendre les premières mesures de protection comme freiner l'enthousiasme des spéléologues par exemple, savoir s'il faut fermer la grotte, contacter les spécialistes, établir si ce sont des découvertes mineures, les consigner pour les avoir dans la carte archéologique nationale. Mon métier m'amène à avoir un avis sur tout. J'ai une vision assez générale des choses et c'est tout à fait intéressant.

Quand vous expertisez une grotte, avez-vous des supports de travail spécifiques ? Comment organisez-vous votre collecte de données ?

- Dans le cas d'une expertise en grotte dans des conditions spéléologiques j'ai plutôt mon carnet de notes, mon crayon, mon double mètre... parce que parfois on se retrouve à franchir des chaudières et je ne suis pas spéléologue. Il y a une technicité

que je n'ai pas forcément quand on a un puit à franchir de 30 m. J'y vais plutôt avec le minimum de matériel, mes yeux avant tout. L'enregistrement c'est dans un deuxième temps, c'est le début de la recherche. Mais cela aura nécessité déjà une autorisation de fouilles, une certaine organisation administrative, technique et scientifique qui ne sont pas opérantes à la découverte. C'est plutôt comme cela que je fonctionne. J'y vais avec mon carnet de notes, un crayon, sans stylo, car cela se casse au fond des sacs. Un crayon, un double mètre et l'expérience permettent d'être assez efficace pour avoir un descriptif.

Comment les méthodes de travail dans votre pratique de recherche ont-elles évolué depuis que vous avez commencé l'archéologie ?

- Cela fait 40 ans que je suis au ministère de la Culture et j'ai vu le métier changé. Il a changé en mieux dans le sens où il y a plus de moyens, les appareillages sont beaucoup plus sophistiqués. En grotte par exemple, on n'y pense jamais, mais la priorité c'est la lumière, on a maintenant des éclairages vingt fois, cinquante fois supérieures à ce que l'on avait il y a 20 ans. Ce sont par ailleurs des éclairages tout à fait simples qu'on peut amener partout comme la frontale. Cela prend une dimension plus complexe en grotte, car sans éclairage tout est simple ! Ce qui change considérablement la première compréhension. Concernant les appareils numériques, pendant longtemps j'ai travaillé en binôme c'est mon collègue qui faisait les photos et je n'ai jamais été contraint de faire de la photographie. Je sais me servir d'un appareil photo, mais je suis plus à l'aise dans une description à l'écrit. Le collègue n'est plus là, je ne travaille plus en binôme, on se complétait sur ces méthodes-là. C'est un exemple nous étions très orientés sur la géologie, sur la stratigraphie, etc. Je m'orientais plus sur le côté animal ossements en général. C'était une complémentarité qui était efficace en termes d'expertise de première approche des sites avant de les transmettre à des chercheurs beaucoup plus spécialisés dans le domaine. Donc c'est un fonctionnement que je n'ai plus du fait du départ de mon collègue et, car nous sommes de moins en moins nombreux de faire ce type d'activité. Je vois mes collègues du service par exemple ils font très peu d'expertises en grotte qui est encore un domaine particulier ils font quand même beaucoup moins d'expertises que je ne fais, ce n'est pas péjoratif ils font un autre travail qui est totalement nécessaire.

Sur les missions archéologiques comment s'organise le dialogue interdisciplinaire ?

- La partie terrain doit être commune, Il faut que physiquement les regards se croisent, je crois à cela. J'ai besoin de cette présence physique pour échanger. Par exemple ce matin avec Catherine qui faisait ces échantillons, on a regardé des surfaces de 30 cm² au sol où elle voulait prélever. On a commencé à discuter, à regarder la micro stratigraphie, à essayer d'identifier ce qui était le plus récent, le plus ancien sans donner d'âge bien sûr. Le croisement des regards, c'est capital ainsi que le discours qui va avec. A Chauvet on a de la chance d'avoir des regards des gens

puissants dans la réflexion c'est enrichissant. Après il y a la rédaction, on attend de nous des écrits. Ces écrits peuvent avoir plusieurs formes. En ce qui me concerne, j'ai du mal à travailler sur le texte de quelqu'un. Je peux faire une correction entre guillemets de forme éventuellement sur un terme. Mais j'ai du mal à y insérer ce que moi je pense peut-être par respect pour le texte écrit par un autre. Moi je propose de faire le texte marqueur, qui va ensuite être haché, moulu, découpé. Cela me permet d'organiser mes réflexions, mes observations. J'ai besoin créer ce texte initial et je ne suis pas froissé s'il est remodelé ou complété. Parfois on a une autocalpacité à se convaincre des choses et il est nécessaire d'avoir un deuxième regard croisé. Je suis de la vieille école et j'ai besoin de ce contact, de cet oral, et de ce texte manuscrit. Maintenant l'ordinateur permet d'échanger plus facilement, un peu trop, ça va un peu trop vite parfois. Lors de la construction d'un atlas célèbre, il arrivait des textes de partout avec des versions différentes et cela devenait ardu.

Avant comment cela se passait-t-il quand vous écriviez des ouvrages à plusieurs mains ?

- Avec autant d'auteurs intervenant sur un sujet je n'ai pas tellement d'exemples dans ma carrière. A Chauvet pendant très longtemps la plupart des documents importants les grosses monographies du site par exemple, du moins celles que j'ai vu passées, c'était plutôt des notices juxtaposées où chacun racontait ce qu'il avait vu avec éventuellement des chapeaux plus communs qui regroupait certaines notices, -on en retirait un certain jus, une sorte de poupées russes qui donnait à l'arrivée un document de synthèse. En général c'était le patron qui faisait la synthèse même si tu ne retrouvais pas exactement dans le peu que tu avais donné ou la partie que tu avais écrite. Il y avait globalement une synthèse puis conclusion. Ces systèmes-là faisaient qu'il pouvait y avoir d'une notice à une autre des choses contradictoires. Ce qui scientifiquement est très intéressant. Ce sont les contradictions qui sont les plus intéressantes ou du moins les sujets sur lesquels qui paraissent il faut trouver un accord, se repencher sur le problème et essayer de le résoudre. Mais là on trouvait des juxtapositions sans qu'elles soient véritablement croisées parce que le patron qui venait faire la synthèse prenait souvent celle qui lui convenait et on évacuait parfois des sujets importants qui auraient mérité des débats.

En quoi les pratiques informatiques ont-elles contribué à changer cette pratique dans la mesure où aujourd'hui ne peut plus se permettre d'avoir deux textes opposés ?

- Il y a encore des monographies qui paraissent qui sont présentées sur ce modèle-là. On a encore cet empilement de contributions très intéressantes certes, mais on n'y trouve pas toujours d'articulation. Et l'un des paris au moment de la création de l'équipe Chauvet, c'était déjà dans l'air dans d'autres domaines de l'archéologie, c'était de croiser les regards, les contributions et de faire des

documents mixés. On est arrivé jusqu'à un certain point, mais ce n'est pas le top. C'est vers ça qu'il faut s'orienter. L'informatique nous permet d'échanger plus souvent. Mais pour l'atlas c'était pénible. C'était une quantité de textes qui arrivaient, avec plusieurs personnes qui apportaient leur propre correction, quand il fallait relire je ne savais plus où j'en étais.

L'informatique était-elle une forme de contrainte ?

- Oui c'était trop de textes. J'ai peut-être des collègues qui fonctionnent beaucoup plus comme ça, Ils sont à l'aise avec ça, mais pour moi c'était un handicap. La seule certitude, c'est que si les gens sont d'accord je fais volontiers le texte marqueur, on toujours un minimum d'appréhension quand on écrit et que les collègues le lisent, mais je ne le prends pas mal si on apporte des modifications.

Est-ce que la grotte Chauvet à modifier votre façon de travailler ? Est-ce qu'il y a eu des difficultés à la prise d'informations ? Est-ce qu'il a fallu s'adapter à cette grotte en comparaison à d'autres grottes ?

- Ce qui m'impressionne à Chauvet c'est la fraîcheur de la grotte et la masse d'informations liées à cette fraîcheur. On peut par exemple travailler sur les appuis de doigts et quelle puissance on a donné au geste en fonction des refus de matière. Un jour ce sera étudiable. C'est une multiplicité d'informations dont on n'a même pas conscience. Quand les dessins faits au charbon de bois sur les parois dans une grotte sont en aussi bon état cela veut dire que tout est bien conservé. Conserver la grotte c'est le premier réflexe pour pouvoir l'étudier, et laisser l'opportunité pour les futures recherches. C'est une quantité d'informations dans des domaines variés qui impose une mise en place à plusieurs.

Est-ce que cela s'était déjà fait auparavant ?

- A ma connaissance en grotte ornée non. Que l'on ait autant de domaines de spécialité dès le début, on a tous été rassemblés très tôt, on a vite compris qu'il fallait travailler avec des regards croisés, des domaines croisés. Et que la publication ne soit pas une juxtaposition de notices. Il faut des choses plus articulées, aujourd'hui il y a des termes pour parler de cela : pluridisciplinaire, intégrée. C'est en 1994 que les outils numériques ont été mobilisés alors qu'ils n'étaient pas si généralisés que ça. Alors bien sûr il y a eu l'argent qui va avec. Dans la première décennie on avait encore ses travaux de tradition des travaux à l'ancienne, si ce n'est pas péjoratif, on était encore dans le cloisonnement par domaine de recherche on a mis plusieurs années à se débarrasser de notre carapace de spécialité. Malgré tous les heurts qu'il y a pu avoir, décloisonner

Comment voyez-vous l'arrivée de la photogrammétrie, du SIG, l'emploi constant de l'informatique, le travail sur tablette pour les relevés. Est-ce un apport nécessaire,

avec un gain de temps ou le contraire ? Est-ce que l'on se détache de l'objet d'étude en dématérialisant ?

- Je vais avoir deux discours là-dessus. Il y a le discours personnel, je ne suis pas de cette génération-là, je ne crache là-dessus, mais j'ai du mal à m'y adapter. J'en fais un minimum, pas que je freine, mais mon savoir n'est pas là-dessus. L'intérêt c'est d'avoir des outils communs, de croiser des regards. Ce que je regrette c'est que l'on a moins ce regard croisé au sens physique, cette discussion à bâtons rompus devant un tas d'ossements par exemple. Et il ne faudrait pas, sous couvert d'avoir un outil commun, que ça coupe, ce qui pour moi est la priorité, ces contacts humains. L'idéal serait peut-être d'enregistrer à deux ou à trois. On a fait des essais à plusieurs reprises avec Catherine, on fait ces tests et c'est très bien, car elle manipule ces outils. Mais deux personnes comme moi, on passerait plus de temps à faire fonctionner la machine qu'à réellement passer du temps à travailler.

D'un point de vue expertise et conservation, en quoi ces outils pourraient-ils avoir un intérêt ?

- En termes de conservation, à une époque, j'étais agent double, j'étais membre du service au ministère de la Culture et quand il y avait un dégât ça pouvait arriver surtout les premières années on marchait sur les plastiques et puis on faisait du hors-piste plus que de raison il est important pour nous de saisir de l'objet et donc quand il y avait un incident il y avait un constat d'incident. J'enlevais mon casque de chercheur de l'équipe, je mettais ma casquette d'agent de l'Etat, ce n'était pas nominatif, mais on s'arrangeait pour qu'il y ait une photo. Je remettais le document à Monsieur B. qui peut être expurgeait encore un peu. Je n'ai jamais vu les documents qu'il remettait au ministère de la Culture au service d'archéologie. Je n'ai jamais vu les documents, mais il n'y avait pas tant que ça et ensuite il y a eu les passerelles qui ont permis de progresser avec beaucoup moins d'impacts qu'au début. Car les premières années avec le plastique ce n'était pas optimal. Et à l'époque si on avait eu des tablettes j'aurais mitraillé tandis que là on faisait de la diapo, parfois le flash ne marchait, il fallait que je remonte et à l'époque on passait par la chatière... En termes de constat pour l'intégrité de la grotte où en tout cas en termes de constats de dégâts si j'avais eu une tablette cela m'aurait simplifié la tâche. J'ai toujours demandé que l'on me fasse une chronique vidéo, à droite des lés et à gauche en mettant un décimètre sur les portiques et puis on fait une bande pour avoir un état. Car il y a des querelles sur les empreintes, « ah cette empreinte elle n'y était pas, ce sont les archéo ... » et aujourd'hui on a encore des doutes. Et à l'époque il aurait fallu faire de la vidéo. Cette rapidité d'informations, d'enregistrements cette vitesse de la reproduction, pour dupliquer c'est précieux. C'est un bénéfice scientifique et pour la conservation. Et ça c'est nettement mieux moi je suis optimiste sauf que je n'ai pas la souplesse d'esprit pour m'adapter facilement à ces outils-là.

Pouvez-vous vous présenter ?

- Je suis responsable du développement de la politique numérique au musée d'archéologie nationale et domaine national de Saint-Germain-en-Laye. J'occupe ce poste depuis 2015, avant cette responsabilité j'étais rattaché au secrétaire général du ministère de la Culture. J'ai fait des études en archéologie, en histoire de l'art et en histoire avec une spécialisation en archéologie égyptienne, formation que j'ai complétée à l'école de l'image des Gobelins dans la section dédiée à la gestion de projet numérique. C'est donc cette double formation qui m'a permis d'entrer au ministère de la Culture sur des missions de gestion de projet par le biais du numérique appliqué au domaine de la recherche. C'est un travail qui permet de couvrir l'ensemble de la chaîne depuis les activités de terrain jusqu'à des problématiques de diffusion de la donnée. Je veille à la restitution des apports et des résultats de la recherche auprès d'un public le plus large possible. Cela fait partie des missions prioritaires du ministère de la Culture.

Est-ce que vous mobilisez les outils numériques dans le cadre de votre travail ?

- De par mes missions je mobilise un très grand nombre et une très grande variété d'outils numériques. Depuis mes activités de terrain, car je suis associé à des équipes de recherche en France à l'étranger je mobilise des outils qui permettent d'accompagner l'acquisition de données et répondre à une logique d'enregistrement, mais également dans de diffusion de valorisation, depuis plus de 20 ans. Dans le cadre de mes activités professionnelles au sein du ministère de la Culture, si on dresse une sorte de chaîne idéale de l'acquisition des données numériques, cela passe par les travaux de terrain avec des problématiques liées à l'acquisition pour les besoins de la recherche jusqu'à leur dépôt, leur indexation en appliquant un cadre et des recommandations des obligations d'une production de données publique. Cela va également jusqu'à une utilisation quotidienne de l'activité au sein d'un musée pour la gestion des collections, pour les activités de médiation, plus les responsabilités que j'ai en termes de diffusion des résultats de la recherche sur internet via la collection des « grands sites archéologiques ». Je suis amené à utiliser des outils extrêmement divers, mais non seulement à les utiliser, mais aussi à faire une forme de prescription de conseil voire d'accompagnement dans le choix et dans les différentes solutions et à différentes étapes. Au sein d'une équipe de recherche je vais être amené à contribuer à des missions d'acquisition, mais aussi accompagner ou à susciter des réflexions des questionnements sur les choix méthodologiques et sur les types d'outils. L'identification de besoins spécifiques, sur du soutien dans l'accompagnement dans le cadre de projets de recherche que cela soit des projets de thèse ou des projets soutenus par des équipes de recherche donc dans des logiques de partenariat. C'est ce travail qui va également être mené au sein du musée, avec les différents collègues soit de la conservation soit de la médiation

avec des enjeux notamment sur la gestion des données l'indexation des bases de données, les enjeux de web sémantique, les problématiques liées à l'ouverture et à la diffusion des données, mais aussi à l'entrée de l'ère du numérique d'une institution muséale avec toutes les contraintes que cela peut cela peut poser. Pour moi on est aujourd'hui en 2021, mais on a, depuis la crise énormément d'éléments qui ont évolué. Il y avait énormément d'éléments qui étaient déjà en gestation au préalable soit dans le cadre de l'expérimentation, ainsi que des évolutions qui étaient déjà engagées et il y a eu un effet d'accélération d'amplification de certaines activités ou de certains choix d'outils avec le développement du télétravail et l'accès aux ressources partagées. C'est intéressant de voir comment définir cette notion de numérique. On a tendance à y associer des termes d'innovation, d'évolution, de révolution. Si on prend un exemple quand je suis arrivé en 2015 au musée on s'est engagé dans un projet de numérisation 3D de nos collections donc il y avait des méthodes différentes qui étaient mises en place par lasergrammétrie ou par photogrammétrie. Finalement, nous avons fait le choix de soutenir et développer en interne les méthodes d'acquisition 3D par photogrammétrie parce en s'inscrivant dans une logique assez simple. Nous avons déjà un atelier de prise de vue photo et du coup on a la chance d'avoir une photographe au musée qui est montée en compétence sur les protocoles d'acquisition photogrammétrique. Il était beaucoup plus simple pour elle de s'adapter et d'aller vers la photogrammétrie que d'apprendre à maîtriser un outil de type scanner qui n'implique pas la même logique. La photogrammétrie répondait mieux à nos besoins de rendus de matière de surface d'objets issus de collections de musées et offrait plus de marge de manœuvre qu'un relevé scanner.

Quels sont pour vous les principaux usages et avantages du numérique ?

- Les usages sont en termes de soutien à des projets très concrets ou des éléments qui permettent de dépasser des blocages, si on prend l'exemple du site du Roc-aux-sorciers dont près de 1000 blocs sont conservés au musée d'archéologie nationale. Ces blocs proviennent du plafond de cet abri sculpté magdalénien qui est dans le département de la Vienne et qui date à peu près de 14 000 ans. Si on voulait faire le remontage de ce plafond manuellement cela serait complexe. Je pense également à l'Égypte, il y a des gens qui ont fait leur carrière sur ce type de remontage, je pense notamment à des grandes statues et des grands ensembles qui sont présentés au musée de Louxor. Ainsi, l'intelligence artificielle est en mesure de permettre et de développer des protocoles méthodologiques qui sont intéressants pour aider ce remontage. Cela va concerner le plafond, mais cela peut concerner d'autres sites, objets ou des structures sur les sites archéologiques. Le numérique au sein des institutions et aussi souvent un élément de l'organisation même de l'institution. Ces services du numérique servent des enjeux et des objectifs qui vont au-delà du numérique. On y adjoint souvent la stratégie numérique, la prospective numérique, le développement numérique, la politique numérique ainsi la stratégie n'est pas uniquement numérique. Ces institutions s'appuient dessus pour développer

mutualiser les forces, les compétences. Je parle en tant qu'agent du ministère de la Culture spécifiquement engagée sur ces problématiques d'usage et d'outils numériques. Je n'ai pas fait l'effort de regarder du côté des sociologues, des gens doivent avoir conceptualisé tout ça et avoir une vision beaucoup plus claire, mais en tout cas. En tant que responsable du développement de la politique numérique du musée quand je suis associée à une réunion avec des conservateurs, des équipes de la régie, des équipes de médiations et développement culturel. J'arrive là en tant que responsable de ce service numérique, mais la plupart du temps c'est pour être en mesure de formuler un besoin de comprendre des attentes de chercher des outils qui vont permettre de répondre à des solutions. Ce n'est pas systématique, mais cela m'arrive assez souvent de me dire en quoi le numérique nous apporte quelque chose. C'est le cas par exemple pour la préparation d'exposition, il y a des dispositifs d'exposition qui marchent pas très bien avec le numérique par contre certains dispositifs numériques peuvent avoir un véritable apport au sein du musée d'archéologie nationale. Il aide à la lecture et permet de susciter une forme de curiosité ou de compréhension par rapport en objet. Par exemple on a une exposition sur l'ours dans l'art de la Préhistoire avec des objets extrêmement difficiles à lire notamment des plaquettes gravées avec des couches de traits imbriqués les uns dans les autres et même avec une lumière rasante. Nous avons proposé des écrans avec des contours à partir des modèles 3D qui permettaient de voir les différents éléments. Ce sont des choses très simples finalement, mais on aurait pu envisager une vidéo ou des projections avec sur les objets il y aurait eu plein de solutions, nous aurions aussi pu simplement mettre un dessin. Cela relève d'un choix d'utiliser ou non le numérique. Ça arrive quelquefois que le numérique arrive en bouche-trou dans une exposition notamment au début du projet. On m'appelle en me disant que l'on nous a refusé le prêt de tel objet, du coup je n'ai plus rien à mettre dans cette vitrine. Il y a donc une sorte de logique inversée : un espace vide qu'il faut remplir. On va alors y mettre du numérique et se retrouvait avec un dispositif au milieu d'une exposition, comme un extrait vidéo et c'est souvent un peu tard en termes de production. De plus en plus d'expositions vont intégrer ces problématiques de projet de rénovation, de création, et d'ouverture musée qui vont intégrer cette logique de numérique au sein de leur réflexion. L'idée n'est pas d'en mettre partout, mais d'essayer de voir à quel moment il est pertinent. Cela révèle des choix divers et variés. Nous, côté institutionnel au sein du musée, on a monté un réseau qui s'appelle ArchéoMuse qui rassemble l'ensemble des collections archéologiques, il y a peu près 300 musées en France qui participent à ce réseau. Nous avons des journées annuelles qui ont été organisées autour de cette thématique nous avons donc des orientations différentes, mais l'intérêt est de voir la prise en compte des usages de la part de nos visiteurs et l'adaptation de nos visiteurs qui s'ouvrent au numérique. Cela intègre aussi le monde des musées de la même façon qu'il intègre les équipes de recherches. Nous avons aussi des effets de génération et de renouvellement, il y a une quinzaine, vingtaine d'années les jeunes dans les équipes se mettaient tous à

Photoshop et Illustrator maintenant tout le monde se met à la photogrammétrie et/ou SIG, il y a des logiques d'évolution parce que ça répond aux besoins. C'est la nature même dans une équipe en archéologie et d'être en mesure d'assurer un enregistrement et une documentation les plus objectives possibles donc on va chercher les outils qui permettent de le faire de la façon la plus exhaustive possible. Dans un second temps nous avons besoin d'outils qui permettent à nous aider à l'interprétation et l'analyse de ces données et du coup on va se tourner vers les outils les plus performants pour le faire dans la même logique. Un autre aspect concerne les problématiques de renouvellement et d'évolution des métiers derrière. Il faut réussi à mettre en avant son expertise dans un domaine particulier vis-à-vis des générations plus anciennes. La notion de nouveauté ou de maîtrise d'un nouvel outil en l'adaptant à la discipline, des arguments qui font poids quand il s'agit de se présenter à un poste ou d'obtenir un soutien pour un projet. Il y a un jeu de construction du numérique dans l'administration que l'on voit fleurir dans tous les organigrammes similairement à la recherche. Derrière il y a aussi des logiques d'opportunités à mettre en avant en passant par le numérique. Si on voulait être caricatural, on pourrait encore aujourd'hui faire des recherches très précises en utilisant le fil à plomb et en faisant des relevés au rottring. Nous sommes encore un certain nombre à pouvoir continuer sans. Après concrètement il y a tout un tas de choses, il y a également les changements d'échelle en termes de données produites et de gestion. Le numérique permet aussi de démultiplier le champ d'action, il a un impact sur la temporalité des projets et sur la mutualisation. L'intérêt de ces outils est aussi tant du côté de l'administration que de la recherche, il y a un rapport à l'outil nous avons tendance à voir des personnes qui s'arroge le droit ou en tout cas le privilège d'être le seul expert sur tel outil globalement quand il s'agit de mutualisation d'échange cela devient compliqué. Heureusement, on a tendance à l'heure actuelle à mettre en place des outils mutualisés. La grande difficulté est la coordination, les logiques de formation des hiérarchies et ce n'est pas parce qu'on peut tous contribuer à quelque chose qu'on doit aussi contribuer au même niveau. Une personne qui développe un système formidable qu'il est le seul à maîtriser limite l'impact et l'intérêt de cet outil. Par contre plus on va multiplier les contributeurs à une plate-forme, plus elle va être compliquée à coordonner. C'est des logiques de poupées russes imbriquées, associées, connectées qui rendent le travail très stimulant, mais demandent d'être un peu au clair vis-à-vis de son ego et d'être un peu carré sur les missions qui sont les nôtres. Il faut savoir à quel niveau peut-on contribuer et à quel moment on a besoin de l'apport d'autres experts. Si on fait le parallèle avec les institutions comme les ressources humaines, c'est une logique de management de la recherche et de développement d'outils qui se trouvent être numériques. Elle est très importante, mais il y a souvent un manque de recul même de formation à ce type de mission dans les équipes de recherches. On va demander à des chercheurs de monter des dossiers financiers pour obtenir des crédits or on ne s'improvise pas non plus bon manager et bon décideur. Cela reste général il y a des

exemples et des contre-exemples. Cette notion d'expérience se retrouve par exemple dans les SIG. La logique de collaboration et coopération est présente au départ, tout le monde est partant, mais tout le monde ne mesure pas de la même façon la responsabilité qu'il doit prendre. Comme souvent quand il s'agit du collectif plus on est nombreux plus la responsabilité va avoir tendance à se diluer. On en vient à ne pas l'utiliser contrairement à la volonté de départ à cause d'éléments qui n'ont rien à voir avec cet outil et qui sont liés à des dynamiques de management, des problématiques de formation, des questions de temporalité sur des projets de terrain. On va utiliser des outils sur une durée limitée alors qu'ils doivent vivre le reste du temps. Il y a un besoin de traitements intermédiaires, d'y accorder du temps de façon régulière et qui va au-delà de la période qui est allouée au projet. C'est souvent difficile d'en assurer l'homogénéité et aussi l'efficacité, c'est aussi ce qui est intéressant dans une équipe de réussir justement à partir de ces éléments-là, à chercher des solutions et avancer pas à pas. Un autre aspect c'est aussi la notion d'échange et de diffusion c'est commun à tous les domaines, les problématiques d'open source, open data. On retrouve ces questions dans le domaine de la recherche, mais également de la culture avec une forme de flou dans la plupart des esprits de ce qui relève alors qu'il existe un cadre légal. Nous avons des usages, nous avons des outils et pourtant cela reste nébuleux pour la plupart des gens alors que nous avons tous un tas de curseurs qui permettrait de remplir les missions, faire une acquisition de données de qualité et d'en assurer une forme d'archivage. Nous évoquons les données du 19e qui ne sont structurées pas alors que la plupart des équipes génèrent des bases de données avec des choix logiciels propriétaires qui ne permettent pas de les ouvrir, avec des thesaurus non conformes et des logiques d'export qui ne fonctionnent pas. Nous avons une forme de responsabilité quand on travaille dans ce domaine, est plus encore dans le domaine du numérique. Plus on est responsable de la production de données, plus on est responsables de la qualité de ces données. C'est un enjeu qui est fort. La difficulté est qu'on est souvent démuné en termes de ressources humaines, financières quand il s'agit de vouloir développer ou financer à un moment donné un travail spécifique parce que justement nous avons aussi côtés des décideurs et institutions, des cadres sont fixés sans forcément prendre en compte les aspects de formation et de mise en œuvre. C'est aussi le propre d'un secteur récent qui se structure, nous commençons à avoir suffisamment de recul et à attendre des choses solides. Même si j'ai aussi une part de responsabilité en tant que producteur de données dans un certain nombre de recherches. C'est à la fois un effort collectif, mais aussi une responsabilité individuelle d'accompagner de soutenir à chaque fois qu'on le peut ce type de projet. Pour prendre un exemple au musée d'archéologie nationale, nous n'avons pas encore de bases de données de descriptions de collection, tout passe par des tableaux Excel. C'est extrêmement difficile à l'heure actuelle alors que l'on attend cela d'un musée de ce rang et de la nature de ces collections. Pourtant cela semble quasi évident à l'heure actuelle. Il y a une logique de création avec des incompréhensions avec le service des musées de

France qui doit gérer en macro ces problématiques de bases de données des collections et faire un choix de ce qui est adapté au musée des beaux-arts et qui ne correspond pas aux collections archéologiques. Par exemple, il y a des cases « auteurs » à compléter, ce qui n'est pas possible dans le cadre des objets archéologiques. Nous sommes un musée national devant se conformer à un modèle de donnée. L'idée va être de développer une autre base de données plus proche des problématiques de terrain et de gestion matérielle de fouilles et de développer un outil musée. Cet outil musée pourra être connecté à la base proposée par le ministère pour qu'elle puisse être liée en termes de format donné aux agrégateurs nationaux pour pouvoir remonter au niveau des bases de données européennes. À l'heure actuelle, la Commission européenne a fait comprendre la France qu'il fallait qu'on fasse un effort sérieux sur la qualité de nos données qui remontent via nos agrégateurs nationaux. Nous avons préparé un projet autour de la base de données européenne Europeana et la création d'un portail dédié archéologie. L'idée est de pousser depuis notre base de données archive pour qu'elles remontent directement à Europeana. Le passage par les agrégateurs avec des problématiques de bases de données anciennes qui ne fonctionnent plus et des mises à jour qui ne sont pas disponibles et font que nous étions totalement absents de toutes les bases de données européennes. Derrière, il y a toutes les problématiques de rayonnement culturel. Nous avons en France une gestion du droit d'auteur très spécifique avec un respect du droit moral, mais qui du coup pose un certain nombre de contraintes quand il s'agit de proposer des réutilisations. Nous constatons très clairement dans les publications que le musée d'archéologie est quasiment absent de par ces problématiques de droit à l'image et de droit de diffusion qui sont trop complexes à gérer et qui demandent le paiement de droits d'auteurs ce qui est logique dans le système et a pour conséquence que les éditeurs vont se tourner vers des images utilisables. Dans un manuel d'archéologie à l'heure actuelle, les photos et les collections du musée d'archéologie nationale, nous n'en trouvons quasiment plus. Cela est un vrai problème d'autant plus au sein du musée, s'agissant de la nature des données des objets des collections la question de la propriété ne se pose pas. Notre objectif est que l'ensemble de ces données soit mis à disposition le plus largement possible avec toutes les possibilités de réutilisation possible commerciale, c'est aussi le pari, peu importe la façon, dont ces images, mêmes les modèles 3D sont utilisés, notre mission est d'en assurer une diffusion le plus large possible si l'on veut qu'elle soit. Derrière cet emblème de jugement de valeur si on veut décider que ça ne soit que bien utiliser, il faut déjà des finances bien en va passer notre temps ce qui est qu'à l'heure actuelle à gérer des demandes en disant si bien qu'elles ne relèvent pas cette question ne relève pas de commission. Notre mission c'est de diffuser concentrant toute faisant l'effort de documentation de numérisation de descriptions et mettons tout ça en accès le plus libre possible ça servira tout le monde si les gens veulent faire des choses mal avec tant pis.

Entretien 5

Pourriez-vous vous présenter ?

- Je suis archéologue et je travaille sur la représentation du corps humain dans l'art paléolithique européen. Je me suis plus particulièrement intéressé à la période magdalénienne. Sinon je travaille sur les méthodes de relevé d'art pariétal et d'art mobilier.

En art paléolithique comment procédez-vous à la collecte des données ? Quels sont vos supports de travail ? Quels sont les protocoles qui sont mis en place ?

- Tout dépend du contexte étude. Quand je suis membre d'une équipe, j'accompagne le protocole existant et je génère des documents numériques pour pouvoir faire des relevés. Ma principale activité c'est de faire des relevés.

Qu'est-ce qu'un relevé ?

- Un relevé archéologique ou d'art pariétal consiste, au moyen de documents numériques et à travers des méthodes qui peuvent varier, à faire un enregistrement des observations et des analyses de paroi. L'enregistrement va consister à cartographier, par différents procédés, tout ce que l'on est en mesure d'observer sur la surface. Ce temps d'observation il peut passer par deux étapes : une première étape où l'on va observer et cartographier et ensuite il y a une observation plus spécifique où l'on doit être capable d'attribuer une identité à ce que l'on a relevé. La phase suivante de l'exercice du relevé c'est de composer avec l'ensemble de ces observations, de les traiter, de les croiser. Si c'est par exemple des enlèvements naturels, des enlèvements anthropiques, s'il s'agit d'une composition figurative, on va pouvoir en partant du relevé, faire des analyses et faire une synthèse qui va nous conduire à un discours plus scientifique sur le lieu, l'art, le sujet... En fonction de la problématique posée, on va pouvoir élaborer un discours. Le relevé archéologique en art paléolithique, ça consiste à un processus, mais c'est aussi le résultat : il y a l'exercice en lui-même du type transversal et c'est en même temps le résultat que l'on va pouvoir expliquer. Dans le cadre d'une collaboration scientifique, comme c'est le cas dans quelques grottes sur lesquelles je travaille, on va se greffer au protocole existant. Pour faire le relevé on va partir des documents qui sont avant tout des documents numériques, et on va pouvoir travailler soit dans la grotte à l'aide de supports intermédiaires on va pouvoir retraiter les supports numériques ou en déporter quand on a des temps de travaux en dehors du site. C'est le premier volet. Le deuxième volet c'est lorsque je dépose un projet de recherche pour une grotte où là je mets en place des projets et un protocole qui me parle, qui me paraît être celui dans lequel je me sens le plus à l'aise. Ce qui va consister dans un premier temps, au sein d'une équipe plurielle, à discuter d'une méthode d'approche : soit c'est une prospection des parois, soit il n'y a pas de prospection de parois et dans ce cas on part d'une sectorisation de grotte, d'une publication ancienne.

De quoi dépend la mise en place de ces protocoles d'acquisition ? Est-ce le protocole qui va s'adapter à un type de grotte en particulier ou bien ce sont des méthodes de recherche qui vont appartenir à certains acteurs ?

- La mise en place dépend du contexte. Par exemple quand je me place dans un contexte où je suis acteur du projet scientifique, je vais proposer et mobiliser des personnes, la façon d'aborder le protocole où le processus ne va pas être le même que si j'interviens dans un projet de recherche où des procédés sont déjà établis. En tant qu'acteur réseau à mon échelle je vais avoir une marge de manœuvre qui ne va pas être la même. Par exemple dans la situation où je suis porteur d'un projet, je vais pouvoir proposer des choses, je vais plutôt privilégier un écosystème de travail dans lequel je suis le plus à l'aise. Ça consiste à proposer à l'équipe de travail, d'être dans un système cartographique et traduire ce qu'il y a sur la paroi en un ensemble de signes. Cette traduction en signe de ce que je vois sur la paroi va mobiliser forcément des leviers qui ne vont pas être les mêmes que si je m'insère dans un projet où il n'y a pas de classifications de ce qui est observé en signes. Par exemple il y a des projets de recherche où l'on va reproduire dans le cadre du relevé ce que l'on voit. Là on est dans une démarche où le relevé sert à recopier ce que l'on est en mesure d'observer. Alors que dans un projet où on classe les observations on va s'intéresser à la traduction en signes et cette démarche va générer 3 choses importantes : une sémiologie, des symboles qui lui sont rattachés, et une définition de la classe d'informations. Si on se met d'accord sur cette démarche, cela suppose qu'il faut prendre alors les choses dans l'ordre c'est-à-dire qu'il faut être capable de voir qu'il y a une intervention sur la paroi et de définir sa nature. Si cette intervention a enlevé de la matière est-ce par exemple le fait d'une personne, d'un animal, ou un enlèvement naturel ? Si c'est un humain, est-ce contemporain ? Avec quel outil ? Quel est le type d'intervention ? Ça va obliger l'ensemble de l'équipe avant de partir faire le relevé, à réfléchir à un référentiel commun qui permet d'aller vers un thesaurus pour donner les outils pour le relevé. Par exemple, si on est tous d'accord sur cette démarche, lorsqu'on est devant la paroi, devant ce qu'on appelle une écaille ou une coulée de calcite, cette coulée de calcite va avoir une terminologie et appartenir à telle classe d'informations et se traduire par un graphisme que nous aurons choisi ensemble. Ainsi elle va pouvoir se mettre sur un calque que l'on va pouvoir cartographier au moyen d'un outil vectoriel. C'est cet exercice-là qui est le protocole générique, et qui appelle des outils, ce seront plutôt des outils vectoriels ; qui appelle une démarche cartographique ; qui serre la focale en fonction – si on est sur un champ orné on va mettre plus de moyens d'analyse ; si on est en dehors d'une zone ornée, on va se concentrer sur 3 ou 4 types d'informations du thesaurus (le relief naturel, etc.). Tout cela doit être mis en réseau, se centraliser dans un objet pivot, mais qui peut changer – ça peut être un objet 3D, un SIG – afin que l'on puisse avancer dans les enregistrements et jouer avec tous ces outils. Ce type de démarche me parle, les tiroirs sont nombreux et on peut bénéficier d'outils nouveaux qui sont en développement, ou qui ne sont pas encore sortis ! On connaît nos limites on sait

qu'on est confronté à la difficulté de traiter l'information, que l'on a beaucoup d'informations sur la paroi, beaucoup d'éléments graphiques à épurer. On sait aussi qu'il faut qu'on travaille dessus. On sait aussi qu'on doit régler le problème de la bascule 2D/3D – ce que je vois sur les parois sont des informations 3D or je les traduis dans un support 2D. Depuis quelque temps, on travaille de plus en plus sur l'objet 3D qui permet déjà de résoudre ce problème il reste encore des éléments à résoudre, mais je dirais que c'est le cadre générique de la collecte est posé.

Ces méthodes numériques ont-elles évolué depuis le début de vos études en archéologie ?

- Les méthodes ont beaucoup évolué. Quand j'ai commencé à être acteur dans le domaine de l'art paléolithique, les outils qui étaient à notre disposition, il y a 25 ans, étaient des outils qui avaient leurs limites. Par exemple, on ne travaillait que sur des documents photographiques c'était des documents argentiques. Et comme nous étions obligés de travailler sur des grands ensembles sans pouvoir prendre un seul et même cliché d'une scène avec une définition convenable, il fallait faire une mosaïque d'images. À partir de cette mosaïque qui donnait une restitution 2D d'une paroi ou d'un morceau d'abri sous roche, on pouvait ensuite faire un relevé dessus. C'est-à-dire imprimer ces mosaïques d'images à des échelles importantes pour les installer sur de grandes planches. Sur ces planches imprimées, nous pouvions placer les calques transparents dessus et chaque calque transparent réunissait une classe d'informations : les pigments rouges, les pigments noirs... Si on s'intéressait aux relevés naturels, c'est ce qui permettait d'avoir un relevé fait sur un support numérique pour une impression. Ensuite ces relevés on pouvait les scanner et on allait chez l'imprimeur pour imprimer ces documents pour que l'on ait des documents numériques qui nous permettaient de faire de l'infographie dessus. Repasser les relevés, on les redessinaient ce qui permettait d'avoir un lot de calques sur papier. Petit à petit j'ai assisté à la bascule c'est-à-dire entre deux impressions et le support papier à un travail sur ordinateur. On faisait l'économie de la phase fastidieuse de l'impression, mais ça restait quand même des compositions orthomosaïques 2D faites par des photos argentiques. Après il y a eu le numérique, on pouvait prendre de nombreuses photos, nous n'étions plus limités par les 36 poses de la pellicule, sauf que nous les appareils photo numériques étaient limités en définition. Et puis je pense que dans le projet sur lesquels je travaillais, il a fallu attendre les années 2010 pour que l'on ait les premiers outils qui nous permettaient une deuxième bascule. La première bascule concernait le capteur numérique, on quittait l'argentique pour passer au numérique. Mais ce basculement technique n'a pas généré un changement de paradigme : le bouleversement technique n'était pas assez puissant pour s'insérer dans nos pratiques. Au final le numérique nous a permis d'augmenter le nombre de photos, nous a permis de faire des orthophotos composées en mosaïques. Mais l'arrivée progressive des outils 3D est venue par la lasergrammétrie, qui avait, en 2000-2010, plutôt comme objectif de faire des

sauvegardes patrimoniales et de faire de la médiation numérique, ce n'était pas encore pour de la recherche. Puis l'arrivée progressive en 2012-2014, de la photogrammétrie, nous a permis d'aller chercher de manière plus indépendante la 3D, sans être dépendant d'un cabinet de topographe. La photogrammétrie était une méthode connue depuis très longtemps, elle était déjà pratiquée dans les années 70/80. Mais c'était une méthode trop coûteuse, techniquement invasive avec de gros appareils qui ne pouvaient pas se déplacer. Elle nous était tout de même familière, par un lot de photos on pouvait générer des modèles. Mais la photogrammétrie dans les années 2010-2015 nous a permis de gagner en temps et de gagner en précision, mais n'a pas non plus créé un changement radical. La photogrammétrie a juste permis de remplacer les photos mosaïques anciennes par des orthophotos issues de la photogrammétrie. Donc il n'y a pas eu vraiment de changement de pratique qui pourrait induire un changement de paradigme. Un changement de paradigme ça veut dire que le changement est tellement fort qu'on doit changer nos manières de faire. Et le fait que ce changement de paradigme n'est pas eu lieu n'a pas permis de passer un saut, un plafond de verre que l'on connaît maintenant plus de 100 ans, c'est-à-dire la déformation forcée d'une réalité en 3D à des représentations en 2D. Dans les années 80/90 on a tout tenté pour traduire la 3D en vues 2D : des courbes de niveau, des points topographiques, des quadrillages. Et si on remonte aux travaux de Michel Lorblanchet dans les années 70, voire les travaux de l'IGN pour Lascaux et même on pourrait remonter à Breuil au début du XXe siècle tout le monde a été préoccupé pour apporter des solutions, mais ça restait de la 2D. Alors que depuis 2015 la photogrammétrie dynamique ou la photogrammétrie télescopique s'est diffusée par capteurs photo et des logiciels. Je constate qu'on est encore dans des pratiques classiques alors que l'on aurait déjà les outils pour changer de paradigme et passer le pas de cette limite qui était la 2D.

Comment partagez-vous l'information avec vos collègues ? Avec l'ensemble des disciplines ? Avez-vous des méthodes de travail communes ?

- Sur les projets dans lesquels je suis investi en tant que porteur de projet, on est plutôt dans une démarche de co-construction que dans une démarche de dialogue. Dans une grotte ornée où j'ai mobilisé une équipe autour de moi, on va d'abord mettre en place des outils communs et on va faire au mieux les actions ensemble. C'est par exemple la géoarchéologue qui s'intéresse aux questions de géomorphologie, de taphonomie de paroi, qui va dessiner sur des documents des informations qui l'intéressent, elle va pouvoir le faire conjointement à quelqu'un qui va s'intéresser à ce que les humains ont dessiné sur les parois et cet enregistrement va se faire de manière croisée – la frontière entre le choix d'intérêt est très perméable. Quand on va relever une paroi, quelqu'un qui va relever une gravure sur un support va relever la gravure, mais elle va s'interroger sur d'autres traits qui l'interpellent. Que ces traits sont sur une surface qui peut changer de nature et qu'il va y avoir des phénomènes

de recouvrement. Donc on est d'accord que nous ne sommes pas spécialistes à 100 pour cent de l'ensemble du champ des spécialités qui interviennent dans une étude donc je connais mes limites. Le fait de pouvoir mettre en place 2 ou 3 opérateurs dans un projet commun, ça permet de niveler les observations. Et comme on aura mis en place, en amont, un thesaurus et un référentiel, on va être capable de pouvoir dialoguer non pas dans un échange – qui suppose le fait que les travaux aient été faits en parallèle et on va échanger nos observations – mais plutôt dans une espèce de co-construction puisque les données vont être générées en même temps. Et ces données-là vont être distribuées dans un même projet, elles seront affichables de manière séparée ce qui pourra toujours discriminer l'information de manière à pouvoir jouer sur la donnée, mais elles auront été faites ensemble, au mieux, parce que tout le monde ne va pas à la même vitesse. Par exemple, sur les parois, si des gravures sont sur une surface blanche, le référentiel de départ va être une zone blanche, on va lui assigner une sémiologie et un graphisme avec un zonage blanc par exemple. Par contre la case définition ne sera pas renseignée, car ce sera en cours d'analyse. Donc c'est là qu'intervient les autres compétences de l'équipe qui vont déployer d'autres outils d'analyse pour rentrer dans la donnée donc ça va être à distance et qui vont pouvoir dire « on a identifié l'agent pathogène, l'individu en formation et on va pouvoir compléter le référentiel ». Quand le référentiel est complet, c'est-à-dire qu'il a une image stabilisée, on le reconnaît bien, il a ses caractéristiques à tel grossissement on voit qu'il a ses pics et qu'il a tel comportement, donc on a l'ensemble des éléments du référentiel qui sont stabilisées et on a le thesaurus qui se complète d'une information supplémentaire. Ce qui veut dire que lorsque les opérateurs n'interviennent pas sur le même plan au même moment – il y a des temps de relevés qui sont un peu plus rapides que d'autres – et du coup nous aurons les outils qu'il faut pour être un peu plus autonome au moment de la saisie. L'inconvénient de cette démarche, qui appelle à ce que l'ensemble des agents soit émetteur de données et en même temps collecteur, ça nécessite du temps. C'est un temps un peu plus important parce qu'il faut être sûr de ce qu'on relève, de ce que l'on prend en photos. Et toutes les données qui sont faites en amont pour l'étude doivent être des données que l'on doit être capable de tracer – ça veut dire que ces photos-là ont été prises pour tel objectif, pour telle nécessité, par telle personne, à tel moment, et à tel endroit. En parallèle, avec la mise en place du protocole de relevé, on va réfléchir à la façon dont on va gérer : ça veut dire spatialiser l'information. Dans 3 ans on pourra dire que sur cette paroi là on a fait tel et tel travail, effectué par telle et telle personne, avec tel et tel objectif. On va pouvoir compléter s'il le faut, on va pouvoir aller chercher ces données-là, car on arrive à la paroi sur laquelle on va pouvoir faire des relevés. Mais le thesaurus il avait été fait deux ans avant, on allait collecter l'information de l'époque. Et puis l'écosystème du relevé qui soit ouvert donc on va pouvoir réactiver les documents et corriger le relevé si besoin. Mais cela c'est dans la situation où on se place dans une démarche où nous sommes tous ensemble acteur réseau et émetteur de données. Il existe d'autres

situations où nous on a un fonctionnement un peu plus paramétré ou circonscrit qui fait que nous sommes plutôt dans une situation où on va devoir communiquer avec les uns et les autres pour avoir accès à leurs données ou alors problématiques ou à leurs questions. Nous n'aurons pas travaillé ensemble, nous n'aurons pas travaillé en même temps, nous n'aurons pas utilisé le même langage donc ce ne seront pas les mêmes référents. S'il y a des sites où je relève la paroi et si on me demande de relever les images observées et ce qui ne rentre pas dans le champ des images, forcément cela veut dire qu'il y a d'autres personnes qui auront relevé cette information et pas moi. Ou alors je vais relever des images ou relever des stigmates qui auront déjà été relevés par d'autres, mais différemment donc est-ce que ces données-là sont superposables ? Est-ce qu'elles dialoguent entre elles ou pas ? Tout dépend du cadre de référence qui est mis en place : de la construction des données ou sur un champ interdisciplinaire. Ce n'est pas le même travail.

Je voudrais revenir sur ce que vous appelez la cartographie de paroi ? Quelles sont les différences entre la cartographie de paroi et le relevé de paroi. Est-ce le même protocole ? Est-ce commun en art paléolithique de parler de cartographie de paroi ?

- Non ce n'est pas commun en art paléolithique de parler de cartographie de paroi, on parle de relevé d'art pariétal. Et le relevé d'art pariétal est un exercice scientifique une démarche qui a été longuement théorisée par le passé et qui s'inscrit dans une méthodologie qui a été publiée à plusieurs reprises, mais qui est une façon de faire qui n'est pas homogène, qui n'est pas stabilisée. Quand on regarde, ce que font les collègues qui enregistrent de la donnée comme les lithiciens, ils font aussi des dessins. Ou quand on va interroger nos collègues qui travaillent sur de l'industrie osseuse ou qui font des enregistrements du bâti ou même les archéologiques, on voit dans tous ces champs disciplinaires que la méthode est très normalisée et donc elle est interopérable : n'importe qui fera du relevé de l'industrie lithique parce qu'elle va respecter une démarche normalisée un code. Cela donne des référents presque identiques, mais avec de la donnée partageable. Ce n'est absolument pas le cas dans l'étude d'art paléolithique, qui est pourtant dans le domaine de l'archéologique. Sa démarche clé est le relevé. Il n'est pas normalisé à mon avis pour deux raisons principales : tout d'abord l'art paléolithique s'intéresse à l'expression symbolique et artistique, avec un prisme émotionnel complètement différent de l'enregistrement d'un sol ou d'un objet, d'autres choses se mettent en place. Et le deuxième élément qui interfère dans le relevé d'art paléolithique, qui n'interfère pas forcément dans les autres relevés, c'est l'investissement personnel et individuel. La façon de reproduire ce qui est observé va faire appel à une capacité plastique artistique. Et cela on le doit en grande partie à l'historiographie du relevé, à la figure historique de l'abbé Breuil. Il a beaucoup œuvré pendant près de 40 ans et a marqué le relevé encore aujourd'hui, dans sa pratique – dans le sens où il rend justice au dessin paléolithique, il rend avec la plus grande exactitude possible ce qui est représenté. Mais lorsque l'abbé Breuil parlait d'exactitude, il pensait à l'exactitude métrique, mais en même

temps il parlait de la magnificence artistique et graphique du dessin. Ça a généré finalement une méthode très individuelle qui s'apparente au travail d'un copiste. Ça génère aussi des éléments connexes c'est-à-dire de savoir dessiner et finalement une pâte très individuelle. Aujourd'hui, lorsqu'on se confronte au relevé, il est théorisé, il a une historiographie, mais c'est vrai qu'il n'est pas normalisé parce qu'au final chacun a des qualités qui sont différentes. Les relevés sont très différents les uns des autres. Il y a eu des travaux dans les années 2000-2010 sur une espèce de normalisation, ou du pas à pas, du relevé avec des publications en 2007 qui montraient l'importance de l'observation, l'importance du carnet de croquis en amont, l'importance de la prise de vues, de la documentation et puis après le dessin et dans ces préceptes il y a des préconisations. L'une des premières préconisations c'est qu'il faut être artiste pour faire le relevé. Dans l'intervention du dessin, il faut un geste artistique parce qu'il n'y a qu'un geste artistique qui est capable de rendre la justesse d'une paroi ornée. Donc quand j'ai commencé à travailler dans le domaine, par des échanges, par des expériences de pratiques, je m'intéressais aussi à d'autres domaines de l'archéologie je ne me sentais pas à l'aise dans cette démarche parce qu'elle ne permettait pas la collaboration du travail – parce qu'on ne peut pas être trois à dessiner sur quelque chose, les dessins sont forcément différents les uns des autres. Et ça ne permettait pas de revenir sur le dessin, j'aime le côté dynamique de l'enregistrement. Ensuite c'est aussi un contexte de formation, j'ai été formé avec des gens qui parlaient plutôt de légende, de graphique, de charte graphique, de cartographie. C'est-à-dire qu'on appréhendait, la paroi non pas comme un objet copié, mais comme un objet à cartographier. C'est toute la différence du calque et de la carte. C'est-à-dire que la paroi ce n'est pas un objet figé avec une hiérarchie d'informations – le dessin paléolithique et tout le reste vient en décor – une surface à analyser comme un sol archéologique où chaque information est à sa place. Le dessin du cheval magnifique est une donnée archéologique comme la griffure, comme la gravure fugace, comme l'enlèvement de matière, que cet ensemble est un système d'information qu'il faut cartographier. Chaque information va avoir son graphisme, son indexation, son appellation, et ainsi de suite. C'est pour ça que petit à petit, nous avons été quelques-uns à venir inférer dans une pratique hégémonique qui est le relevé classique ou traditionnel où le relevé graphique, voire parfois plastique, va venir apporter une autre démarche qui a aussi son historiographie qui n'est pas ex nihilo, elle a aussi ses travers, ses théoriciens, ses contradicteurs. Depuis quelques années, nous sommes quelques-uns à essayer de ramener cette méthode dans les enjeux scientifiques. Ce n'est pas quelque chose qui est partagé par la communauté parce qu'elle inverse finalement la dialectique. La dialectique traditionnelle du relevé c'est de dire je vais relever ce que j'ai vu par des croquis : Il y a un magnifique mammoth peint je l'ai vu, j'ai fait mon croquis préparatoire, le relevé va être la copie de ce que j'ai vu et ça va être ce que je vais relever en premier. L'image c'est l'entrée dans le relevé. Alors que dans le relevé cartographique, j'ai bien vu l'animal en question, mais pour ne pas être obnubilé par sa présence graphique,

je vais plutôt inverser la dialectique, je ne vais pas m'intéresser à lui directement, je vais d'abord travailler sur tout le reste pour finir sur cette information. Donc ce n'est pas la même chose. Pour répondre à votre question, ce n'est pas un langage qui est partagé. Ça a beaucoup plus du succès, ça permet plus d'interopérabilité avec d'autres collègues comme les géomorphologues, les géologues, qui sont beaucoup plus habitués à ce type d'analyse, mais cette démarche a beaucoup de mal à trouver une place ou à se proposer comme outil interactif auprès des collègues qui sont traditionnellement assimilés à des gens qui font du relevé d'art pariétal. Ce n'est pas pour rien que le terme de pariétaliste a émergé depuis 20 ans et qu'il a un effet pervers : en voulant identifier les gens qui font ce travail, ceux-ci sont finalement exclus du champ de l'archéologie parce que pour être pariétaliste il faut savoir dessiner.

Quelle place occupe la cartographie dans les études de grottes ornées et dans le champ de l'art préhistorique ?

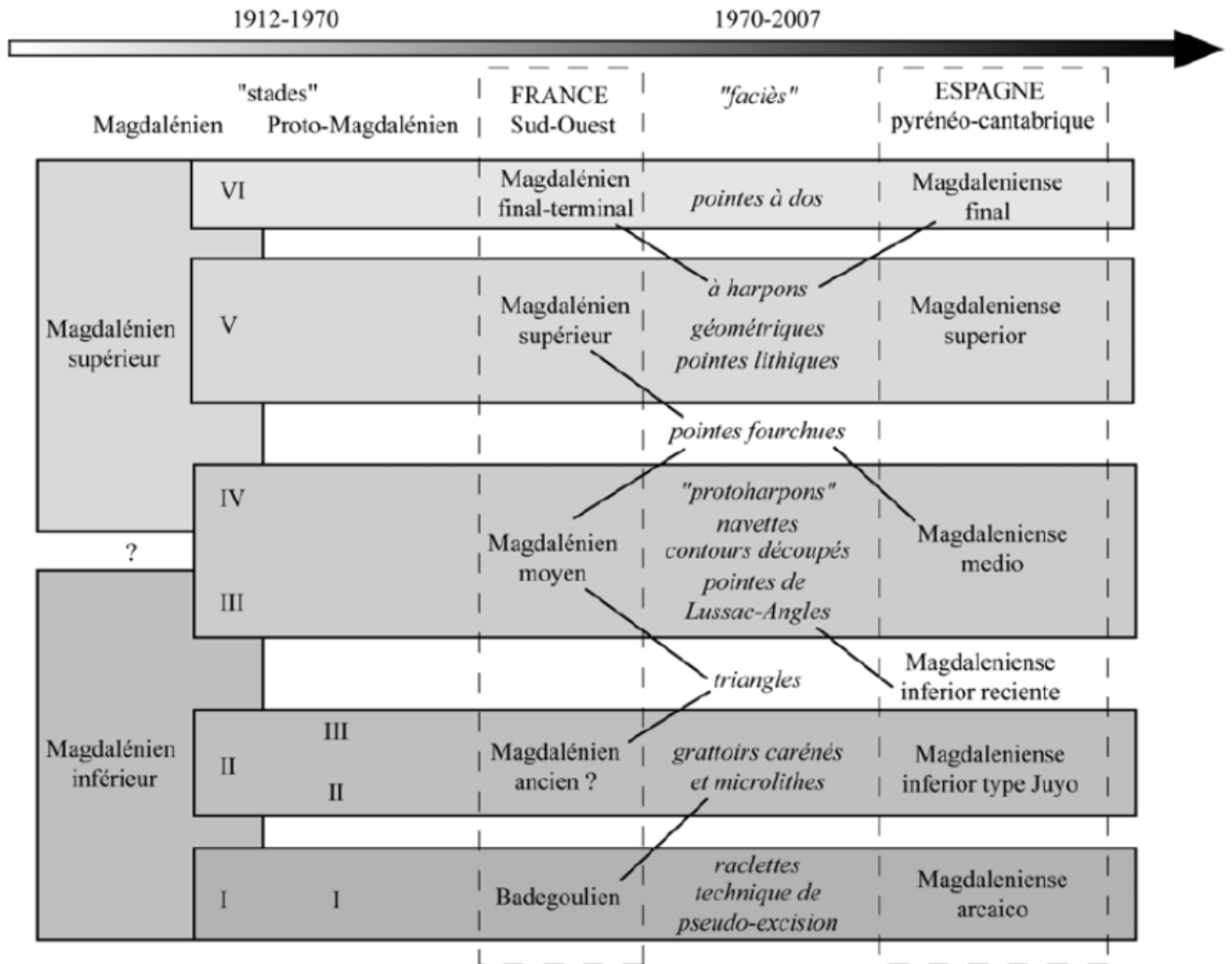
- La carte fait partie du bagage de l'archéologue depuis que cette discipline existe. On cartographie l'espace souterrain, les réseaux, les sols. Les sols sont cartographiés dans un second temps, on va avoir de plus en plus de sols cartographiés à partir des années 80/90. Cette cartographie des sols va surtout venir du développement de la taphonomie ou d'étude de la géoarchéologie qui va s'intéresser au milieu souterrain, ce qui va m'amener la notion de cartographie dans les grottes ornées. En archéologie préhistorique la notion de carte est toujours présente. À l'échelle d'un site, on va cartographier un sol d'occupation, mais aussi à l'échelle du territoire, on va cartographier les sites archéologiques. Cette démarche cartographique elle a toujours été présente, mais elle est devenue de plus en plus importante en contournant le sujet. Ce ne sont pas les pariétalistes qui ont amené la notion de cartographie. Elle est d'abord venue par le sol avec quelques cas rares puisque Michel Lorblanchet dans les années 70 faisait déjà des cartographies de paroi, mais il était bien le seul. Dans les années 80, il y a des chercheurs comme Brigitte Delluc qui ont également généré des cartes de paroi. Mais ces relevés étaient qualifiés, à l'époque, de techniques, pour bien les distinguer d'un vrai relevé, avec une charte graphique où chaque donnée se convertissait en point, en étoile... Ce qui rendait hermétique l'accès à l'information. Ces exercices de cartographie de paroi dans les années 80 ont en quelque sorte un peu marginalisé le relevé auprès des chercheurs ce qui va faire que dans les années 90 cette approche-là va être totalement marginalisée. D'ailleurs il y a un élément qui marque aujourd'hui l'époque moderne, c'est la découverte de la grotte Chauvet. Puisque l'étude de la grotte Chauvet va être ouverte à un appel d'offres à projets et ce sont deux grandes équipes qui vont se confronter : une équipe dirigée par Jean Clottes, qui avait dans l'équipe des gens comme Gilles Tosello, Carole Fritz ou Valérie Feruglio qui étaient très actifs dans le relevé graphique alors que l'équipe composée par Denis Vialou avait dans son équipe des gens qui avaient été les pères du relevé photographique (Lorblanchet, Les Delluc...). Le relevé cartographique ou la

notion de cartographie de paroi n'aurait pas été la même aujourd'hui si l'équipe de Denis Vialou avait remporté l'appel d'offres. L'équipe qui a remporté l'étude de la grotte Chauvet, c'est l'équipe Clottes qui va instaurer de manière hégémonique le relevé. D'ailleurs il y avait dans l'équipe Chauvet Norbert Aujoulat qui était une personne hybride très investie dans une recherche cartographique analytique des parois, mais qui était dans la grotte Chauvet et qui se retrouvait un peu tout seul dans cette équipe et qui n'a pas réussi à inférer dans cette équipe le langage cartographique. Donc aujourd'hui la cartographie en art paléolithique elle est présente de manière encore satellitaire au niveau des sols et au niveau des parois quand il s'agit de la taphonomie, on le voit dans les publications récentes que ce soit la route. On a des cartographies de paroi, mais qui sont toujours du fait des géoarchéologues et que dans la page suivante on a le relevé de la paroi qui est un relevé graphique. Et qui ne pas du tout avec des données cartographiques.

Voyez-vous un intérêt dans l'utilisation des SIG dans l'étude des grottes ornées ?

- Je m'inscris dans une démarche cartographique de l'étude des parois et le SIG c'est intéressant, car toutes les données qu'on a pu générer ont des valeurs, vont avoir des éléments intrinsèques à la donnée produite et du coup ça va pouvoir dialoguer avec un système comme un SIG qui permet de faire des analyses. Aujourd'hui pour ma part le SIG est un outil très important pour organiser et structurer l'information, mais aussi pour traiter ces informations et d'avoir des données qui soient visualisables et mesurables. Ce qu'il faudrait maintenant c'est formaliser et réunir toutes ces démarches cartographiques, 2D ou 3D au sein de quelque chose qui pourrait être un SIG non pas des sols, mais des parois ou alors sol/paroi. Ce qui permettrait d'avoir une lecture en continu des informations et questionner l'univers souterrain, ou l'échelle du territoire orné comme un lieu que l'on va pouvoir questionner sur des données particulières. Je pense que c'est d'autant plus faisable à partir du moment où le relevé en amont permet des passerelles avec le système du SIG. Parce que nous sommes sur des objets qui sont des objets vectoriels tout un langage qui permet peut-être des transferts avec ces fameuses questions d'interopérabilités qui est peut-être un peu compliqué dans un relevé classique et traditionnel qui produit des données non normées et qui sont des données plus figées.

ANNEXE 5 – Périodes et faciès du Magdalénien en France et Espagne.



ANNEXE 6 – Attributions des chronologies à travers les publications des auteurs.

| Préhistoriens | Citation d'attribution chronologique | Résumé d'attribution | Date de la publication |
|----------------------|---|--|------------------------|
| Breuil | <p>Gravures :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Magdalénien III : Sur la paroi gauche, en entrant, un assez grand nombre de gravures d'équidés d'un très bon style, remplies de hachures parallèles. – Magdalénien IV : Sur la paroi du fond, à droite, des bisons de tracé léger, enfouis autrefois sous du loess soufflé. – Magdalénien IV : Les autres gravures, partais presque sculptures, de divers autres points de la grotte doivent se répartir en divers moments, surtout, mais il est ditficilo de préciser. – Magdalénien VI : Gravures fines associées aux polychromes, mais qui leur sont postérieures ; de belle technique avec menus détails. <p>Peintures :</p> <ul style="list-style-type: none"> – Magdaléniens III et IV : Tracés linéaires noirs, très simples, d'animaux – Magdalénien V : Tracés noirs, assez rudes, à trait parfois épais, souvent en partie remplis de couleur noire, modelés comme à l'estompe. – Magdalénien VI : Figures en partie modelées, en partie à remplissage pointillé rouge ou noir – Madgadénien VI : Figures polychromes, parfaitement cernées (voir no magdalénien VI) : Signes rouges, plus foncés que les suivants, recoupe par des gravures animales de grande taille el superposées aux polychromes ; barres à bout ponctuation, tectiformes. – Azilien ou extrême fin du Magdalénien VI : Signes rouges : longues barres barbelées, ressemblant à des flèches et ponctuations. | Magdalénien ancien/moyen/supérieur/final/Azilien | 1905/1952 |
| Méroc | peut-être, alors même que la grotte de Marsoulas avait cessé d'être une habitation, gardait-elle, pour les habitants du pays, une importance religieuse ou magique qui les y ramenait pour de mystérieuses pratiques | Magdalénien récent | 1948 |
| Plénier | Grâce à ces éléments, une estimation chronologique devient possible, situant la grotte dans une seule phase artistique appartenant au Magdalénien pyrénéen final du XIe millénaire. | Magdalénien final | 1971 |
| Leroi Gourhan | <p>La datation de la partie peinte de Marsoulas ne semble par conséquent faire aucune difficulté : c'est le Magdalénien III-IV qui s'impose à l'esprit.</p> <p>Il me paraît plus sage de laisser le problème à résoudre par une étude plus approfondie et de considérer qu'il y à Marsoulas des signes quadrangulaires qui vont parfaitement avec les bases de sagaies à biseau orné du Magdalénien ancien et des claviformes à boucle large, qui s'accordent bien avec les sagaies à cannelure et biseau simple non strié du Magdalénien moyen.</p> | Magdalénien moyen | 1984 |
| Vialou | Ce double aspect lui a valu plusieurs fréquentations au cours du Paléolithique supérieur en particulier durant le Magdalénien, vraisemblablement pendant le Magdalénien III, antérieur à la grande éclosion de l'art pariétal en Ariège. | Magdalénien ancien/magdalénien moyen | 1986 |
| Foucher | Enfin, on ne peut qu'être d'accord avec lui (Denis Vialou) : — pour dater l'art pariétal de Marsoulas de la phase ancienne du Magdalénien moyen pyrénéen. | Magdalénien moyen ancien | 1991 |

ANNEXE 7 – Base de données Marsap.

Base de données pour l'art pariétal - **MARSAP**

G13-01

| | | | | | |
|----------------------------------|--|--------------------|-----|------------------------|-------------|
| ID | 0 | Chronologie | 1 | Secteur | G13 |
| Nom entité graphique | G13-01 | | | Registre | inferieur |
| Technique utilisée | <input checked="" type="checkbox"/> gravure <input checked="" type="checkbox"/> peinture | | | X | |
| Pigment(s) présent(s) | <input type="checkbox"/> mauve <input type="checkbox"/> noir <input type="checkbox"/> orange <input checked="" type="checkbox"/> rouge | | | Y | |
| Orientation | profil_droit | | | Z | |
| Etat de conservation | | | | Photo n° | |
| Analyse pigment effectuée | <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non | | | Relevé n° | |
| Utilisation du relief | <input type="checkbox"/> oui <input checked="" type="checkbox"/> non | | | Année du relevé | |
| Relevé effectué | <input checked="" type="checkbox"/> oui <input type="checkbox"/> non | | | Dessinateur | |
| Genre | <input checked="" type="checkbox"/> figuratif <input type="checkbox"/> abstrait | | | Espèce | bison |
| | | L (cm) | 152 | Sexe | Indetermine |
| | | H (cm) | | Etat figuratif | complet |
| | | | | Signe | non |

| Attributs (internes/externes) | Technique | Position | Valeur | Unité |
|-------------------------------|-----------|----------|--------|-------|
| corne | courbe | | | |
| queue | tombante | | | |
| yeux | | | | |
| dos | lineaire | | | |
| patte_post | lineaire | | | |

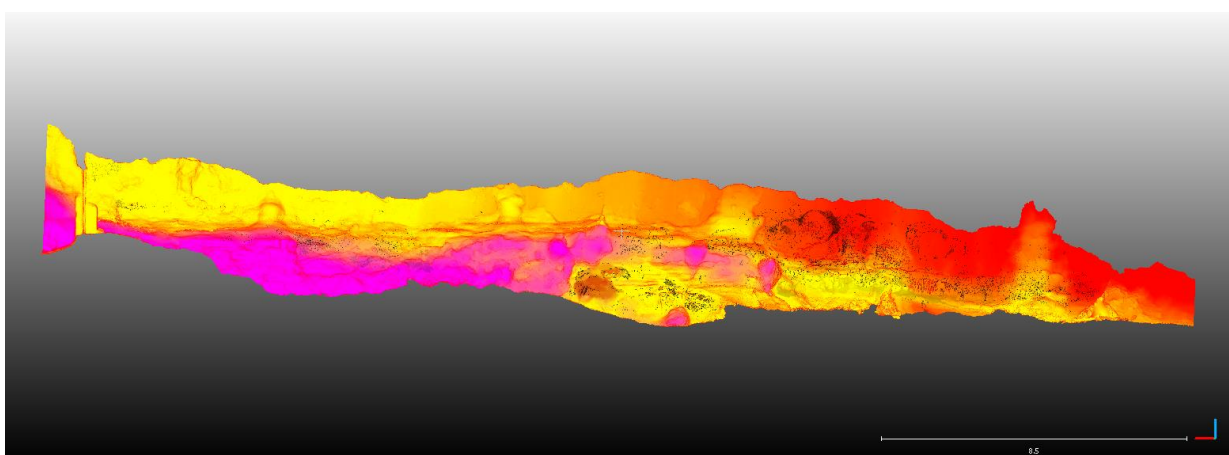
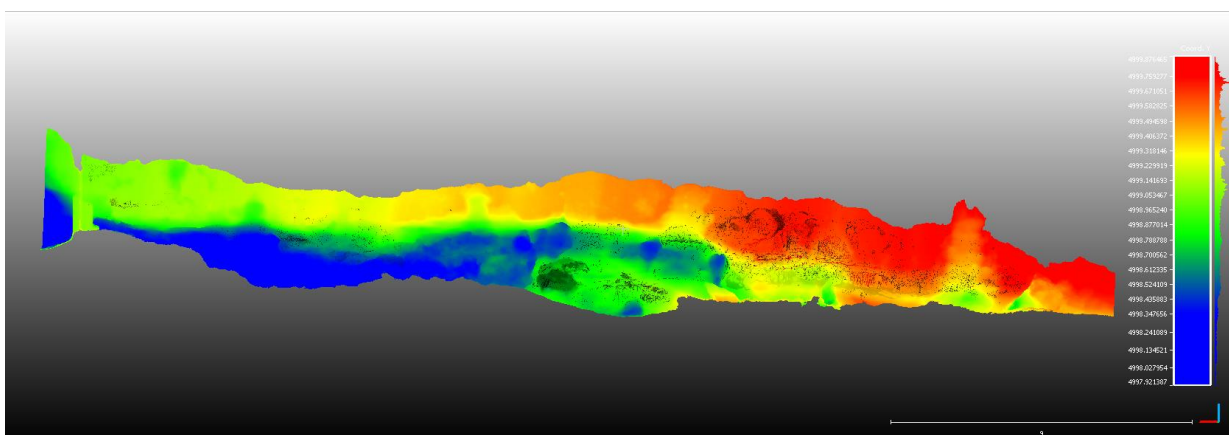
| | |
|--------------------------|------------|
| Date de la saisie | 18/04/2016 |
| Date initiale | 19/12/2011 |

Description Relevé Photo Bibliographie Memo attributs

Bison entièrement peint d'un aplat rouge tirant vers le carmin ; cette différence de teinte permet de le distinguer aisément de son congénère G13-03 sous-jacent. Il semblerait que le remplissage peint déborde des contours de l'animal autour de la tête à moins qu'il se s'agisse d'une diffusion du colorant ou d'une autre entité, oblitérée par la calcite très épaisse dans la zone. Le contour du dos, de la crinière est orné par une bande très finement gravée. Le sommet de la tête, seul encore visible, montre deux cornes recourbées vers l'avant, la gauche se terminant curieusement par un faisceau de traits. L'oeil possède l'indication rare d'une paupière. On remarque sur la ligne dorsale une inflexion caractéristique correspondant à la crinière : ce détail de style apparaît sur plusieurs bisons du site. A l'extrême gauche, des vestiges de pigment rouge sont situés à l'emplacement de la queue.

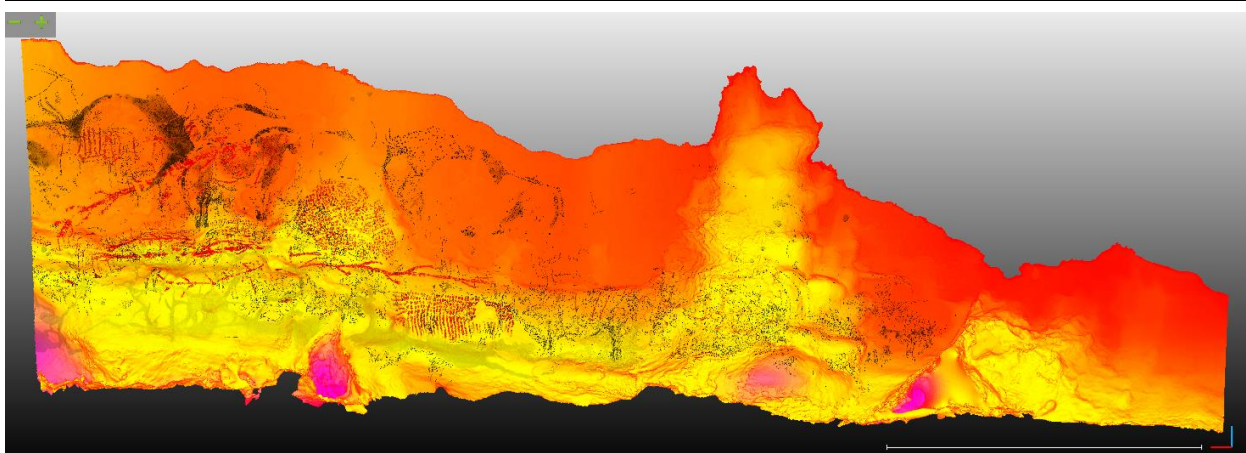
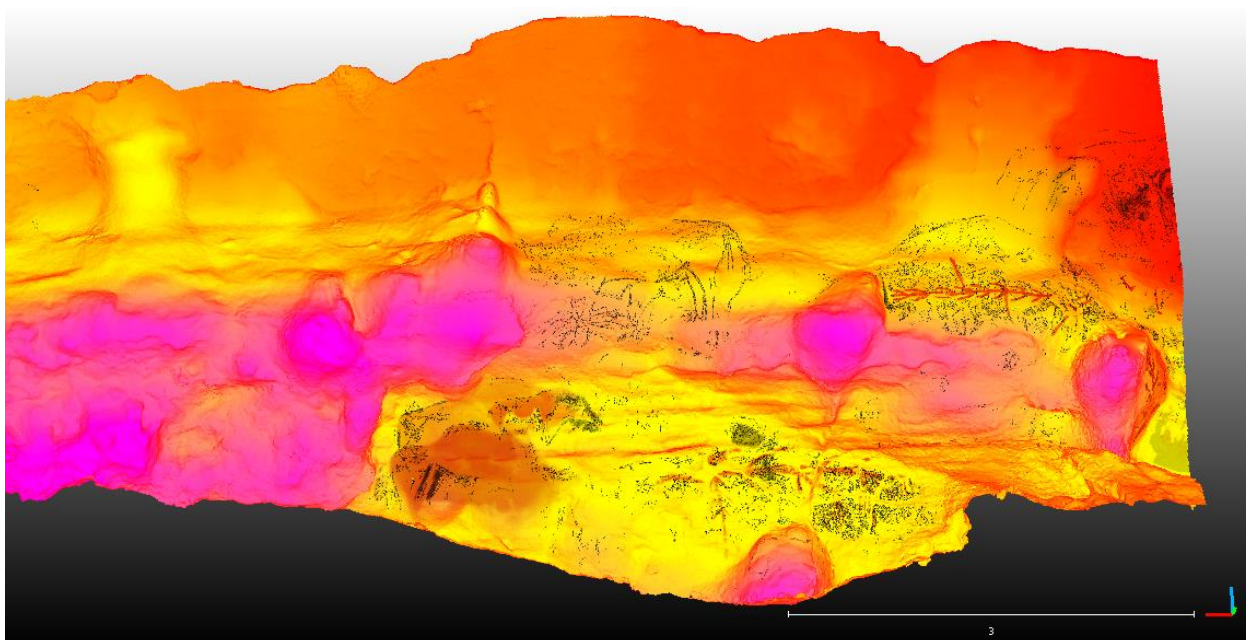
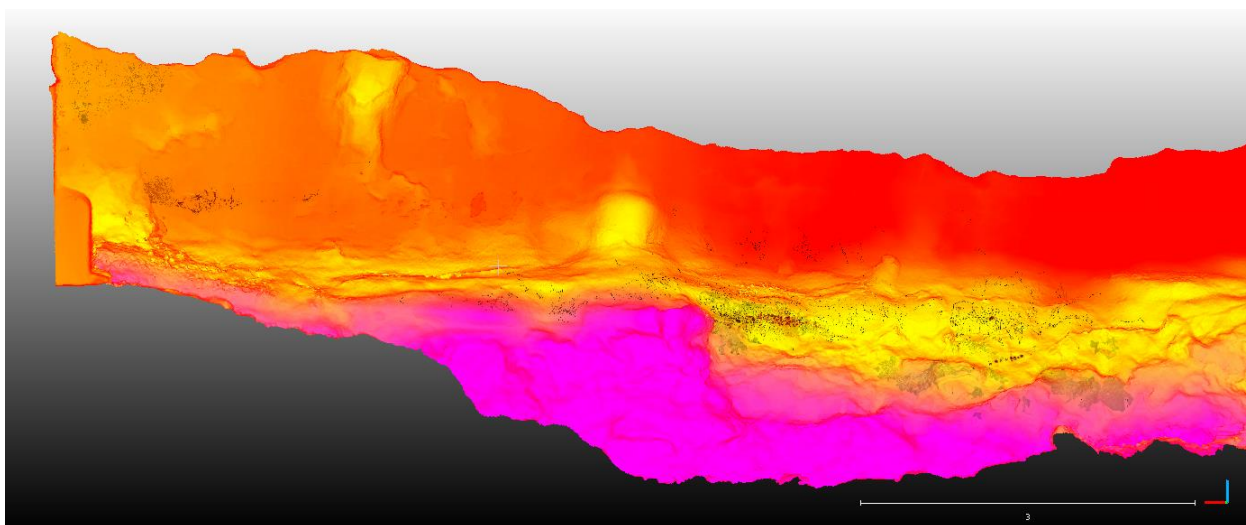
ANNEXE 8 – Analyse de surface.

Annexe 8.1 : MNT - Paroi de gauche

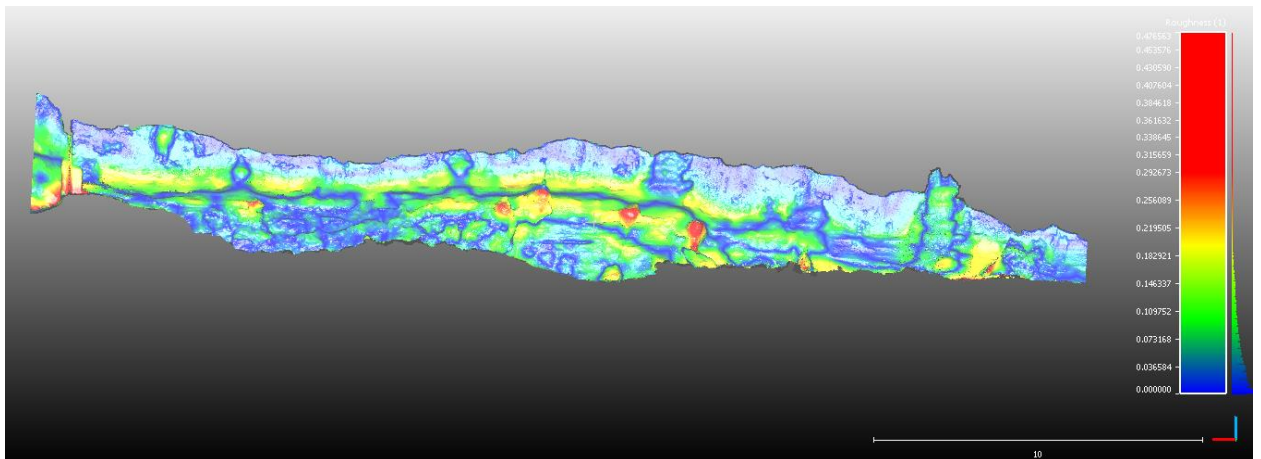


Le modèle numérique de terrain permet de montrer l'écart important entre les différences zones de la paroi. Il existe une différence assez nette entre la partie supérieur et inférieur dès l'entrée de la grotte. Cette écart de zone va tendre à disparaître en se rapprochant de l'étranglement. Cependant on constate la présence de nombreuses, niches, alcôves. La partie supérieur présente une avancée par rapport au registre inférieur et paraît relativement plane.

Annexe 8.2 : MNT - Paroi de gauche – découpage en 3 sections

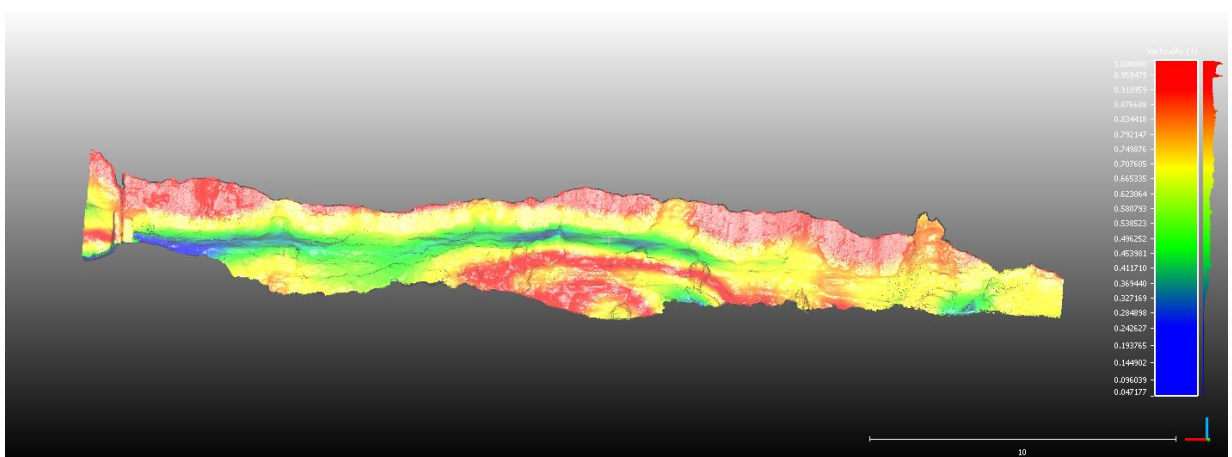
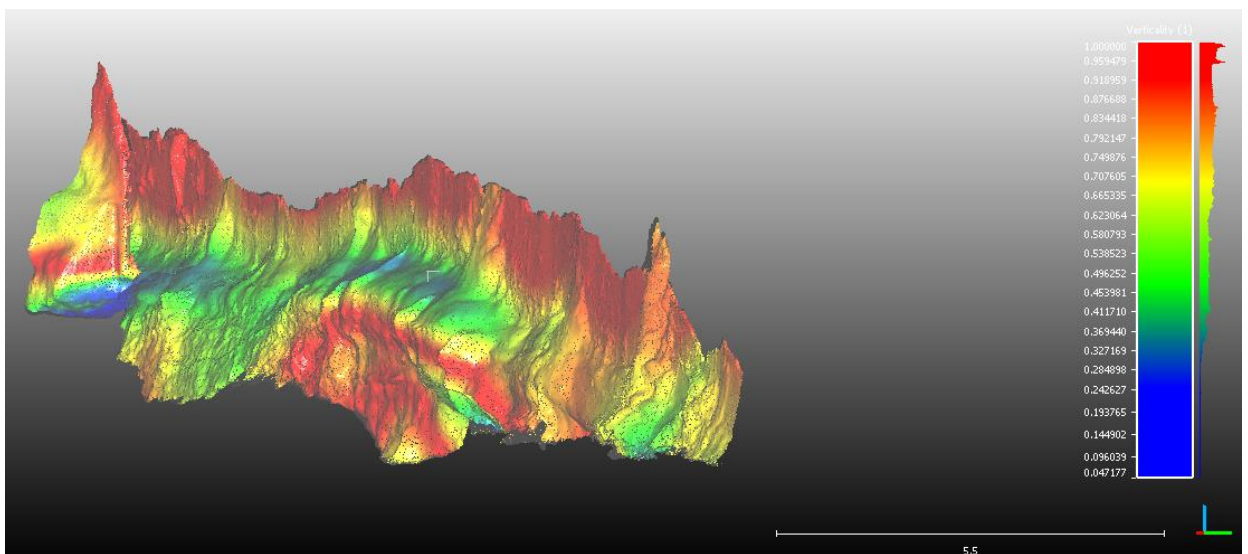


Annexe 8.3 : Rugosité de surface (1 m) - Paroi de gauche



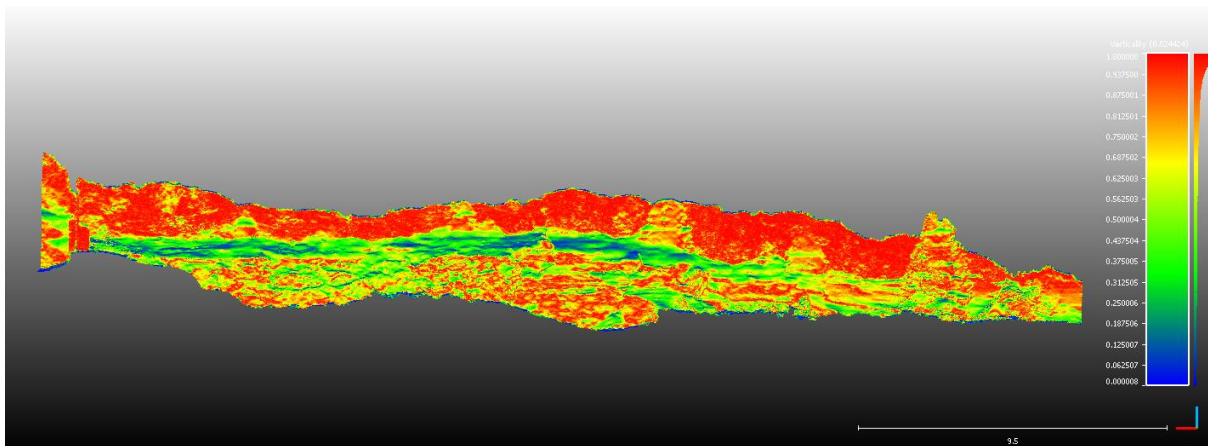
A un mètre, on constate que les zones présentant de fortes déformation sont présentes. Les alcôves et niches sont relativement visible au centre du panneau. On constate également qu'une base rugueuse se détache au niveau premier registre supérieur. La zone est relativement érodée.

Annexe 8.4 : Verticalité (1 m)- Paroi de gauche



Annexe 8.5 : Verticalité (0.02 m)- Paroi de gauche

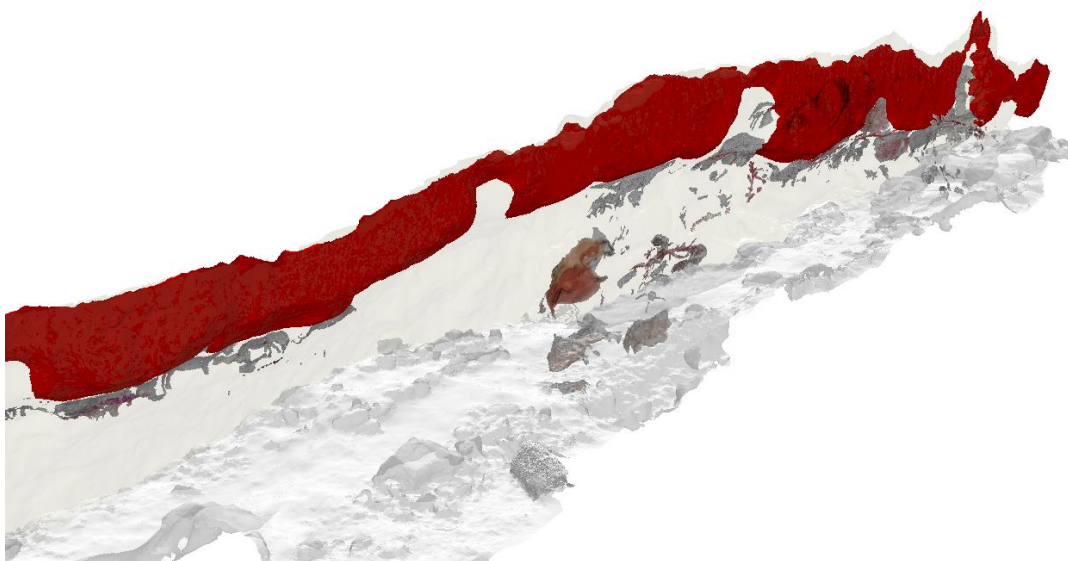
Les zones où la verticalité est la plus importante se localisent dans le registre supérieur et le registre inférieur. On constate que la zone intermédiaire présente un pendage relativement important. Dès l'entrée, le pendage est d'ailleurs accentué sur l'ensemble de la partie basse de la paroi.



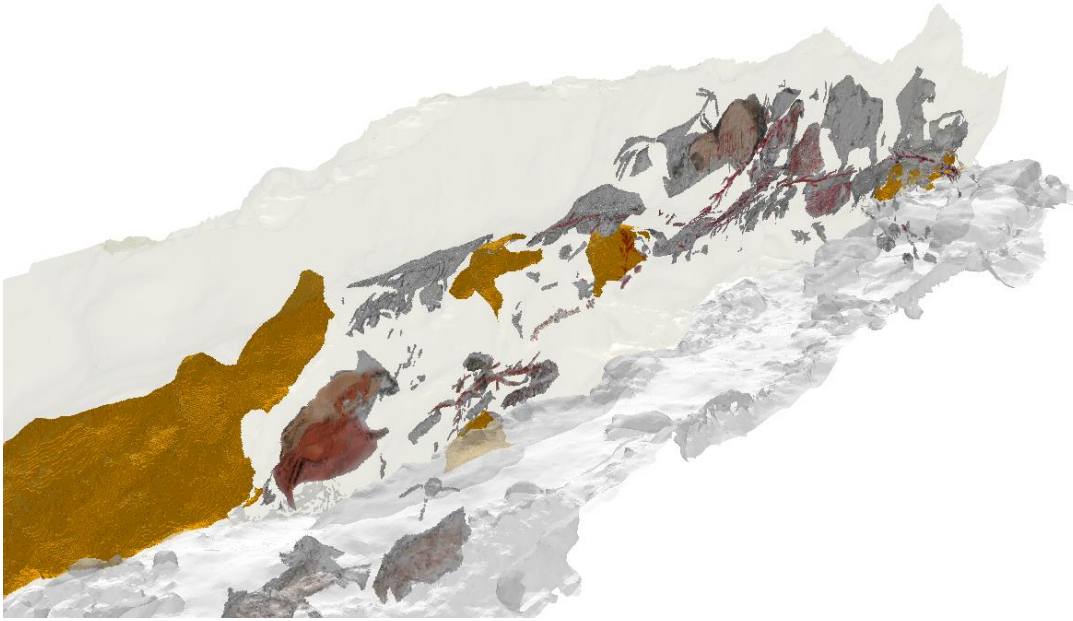
Ces effets de verticalité s'observent de manière plus précise avec un rayon de 0.02m. On constate bien la régularité du registre supérieur qui apparaît relativement plane. Le passage ensuite à une zone relativement pentue et enfin le registre inférieur qui reste ne présente pas de concavité mais une surface très irrégulière. Le registre apparaît clairement comme la zone la plus plate de la paroi.

Annexe 8.6 : Découpage des zones retenues

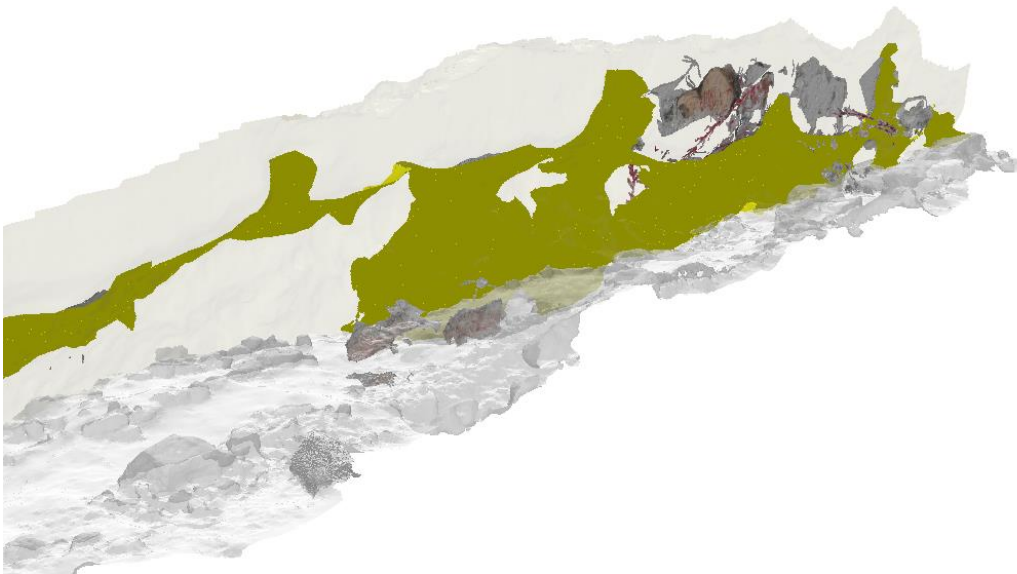
Zone 1



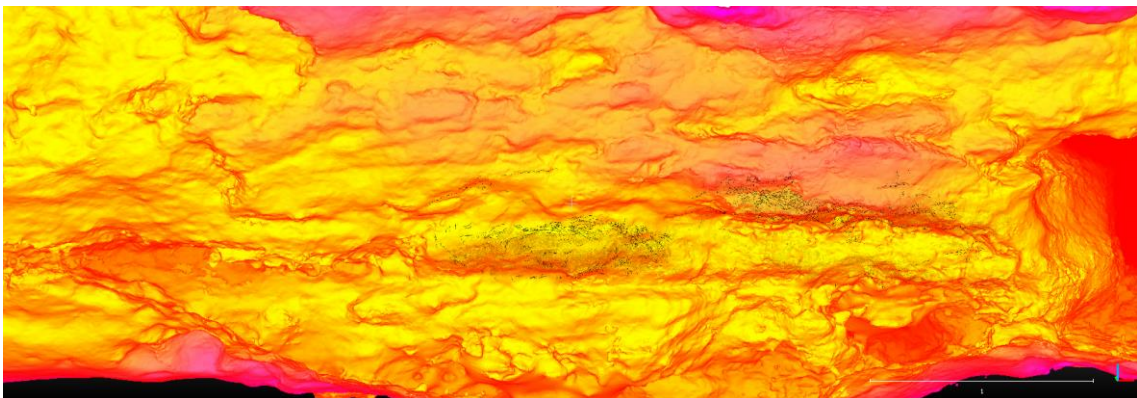
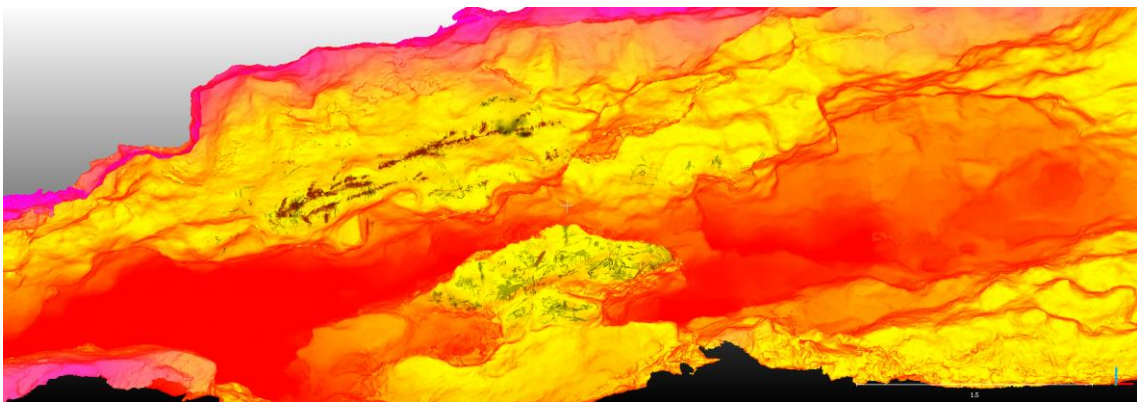
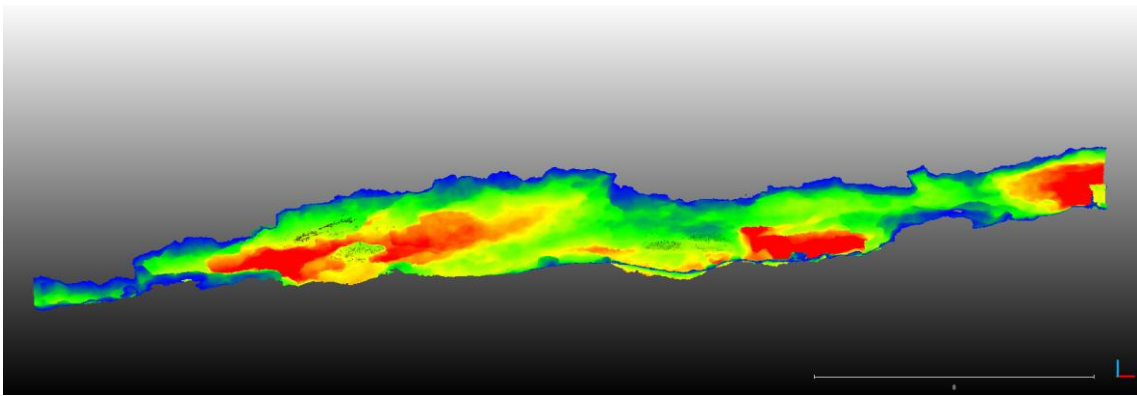
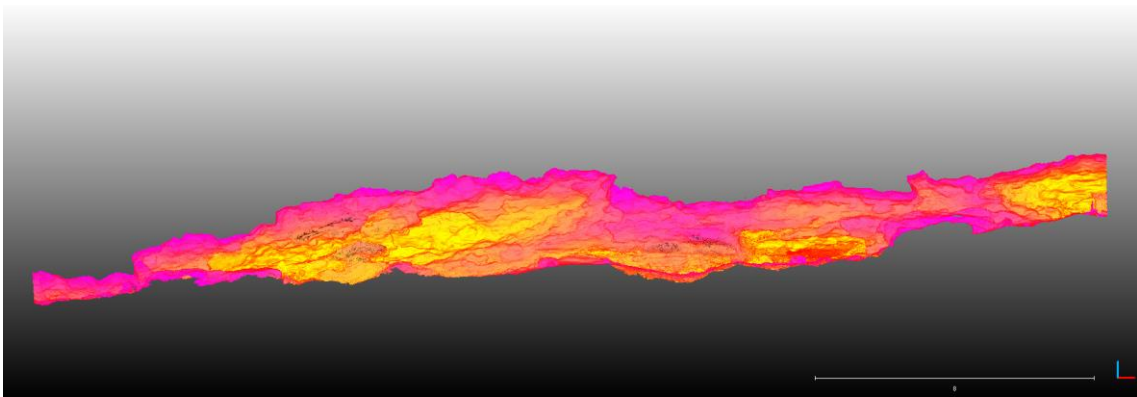
Zone 2



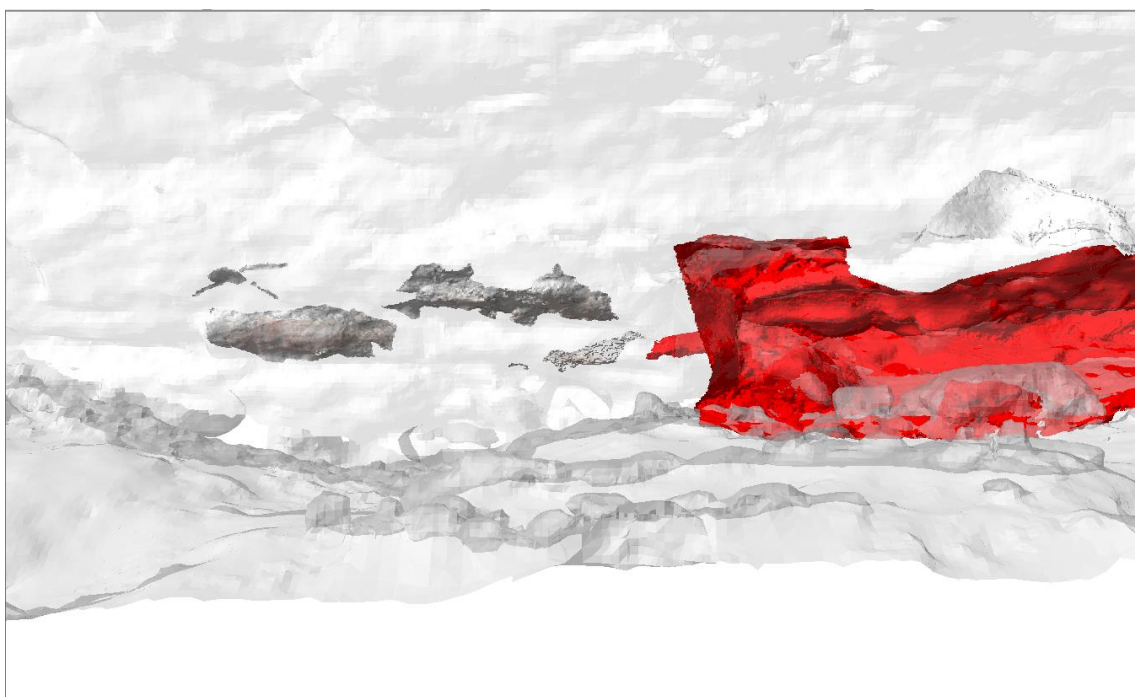
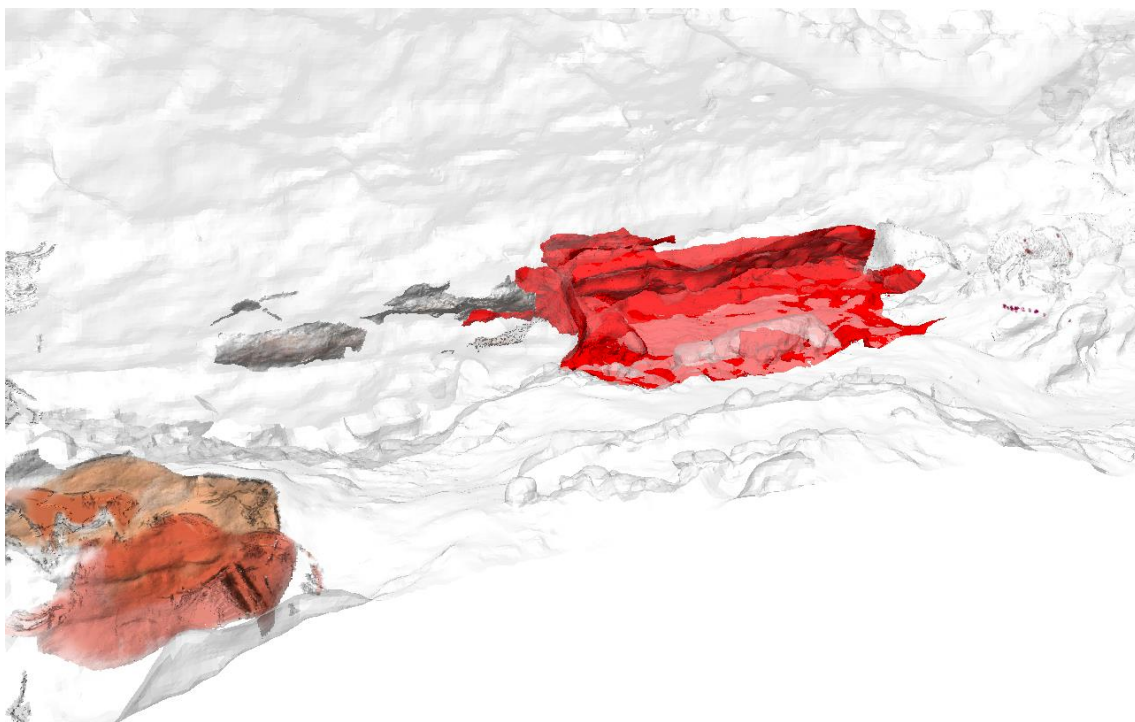
Zone 3



Annexe 8.7 : MNT- Paroi de droite



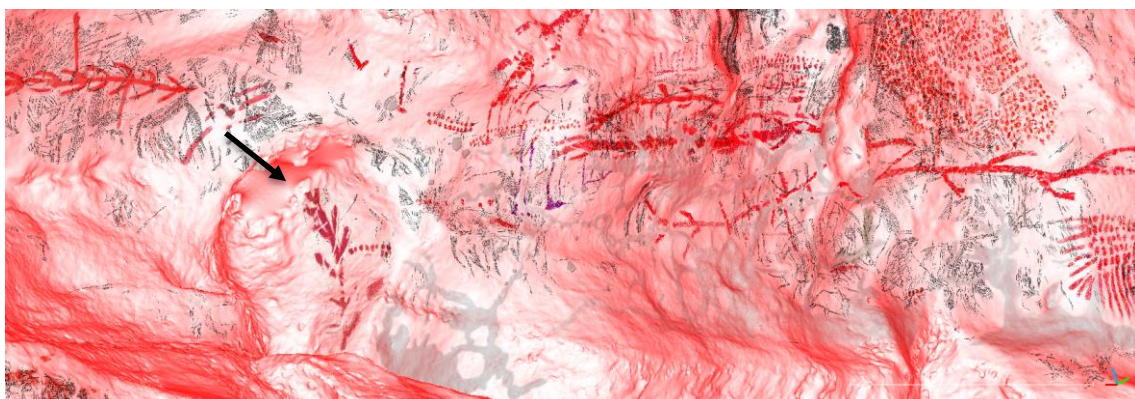
Annexe 8.8 : Découpage des zones retenues



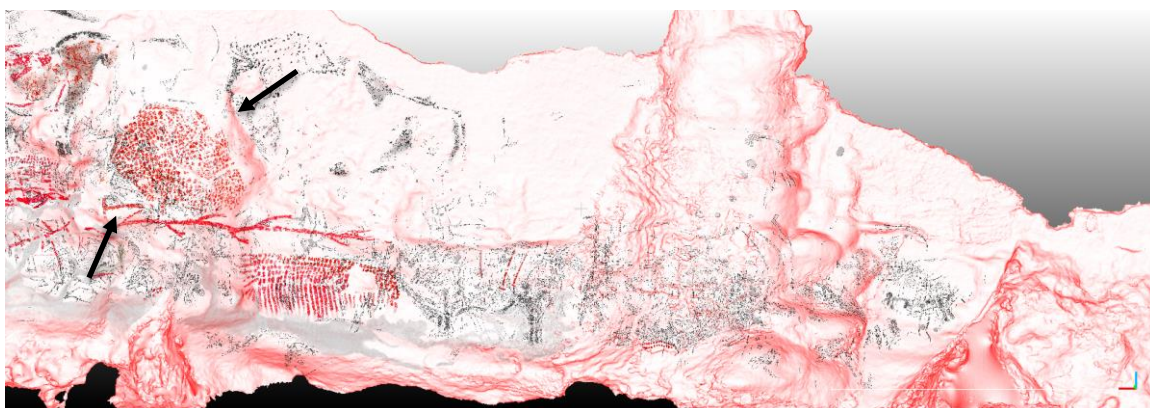


ANNEXE 9 – Observation de l'emplacement des entités.

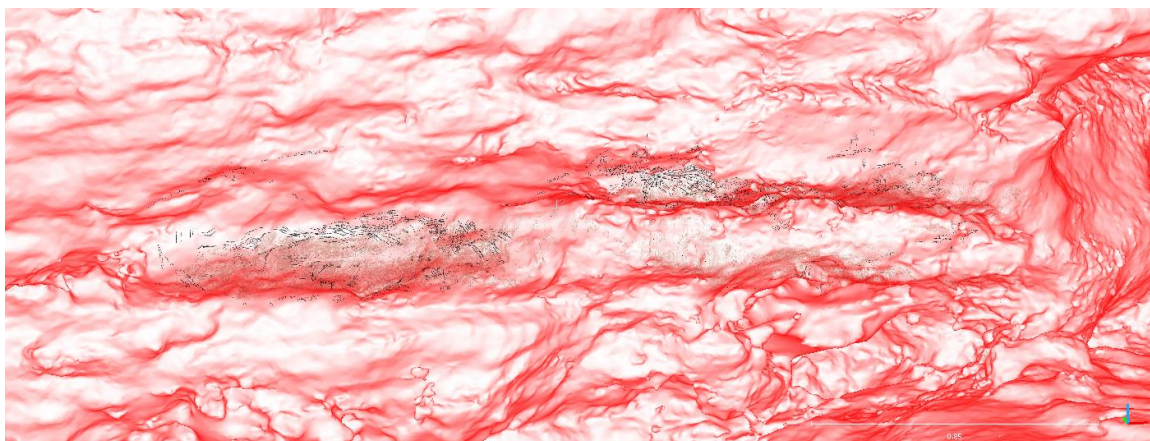
Annexe 9.1 : Signe barbelé positionné dans une alcôve – paroi de gauche



Annexe 9.2 : Bison ponctué positionné dans une dépression – paroi de gauche



Annexe 9.3 : Gravures – paroi de droite



Annexe 9.4 : Avancée rocheuse – paroi de droite

ANNEXE 10 – Repères identifiées sur plusieurs photos
(G.Tosello, C.Fritz, C.Ferrier et J.-C.Blanc).



ANNEXE 11 – Noms et localisations des différents panneaux dans la première partie de la grotte Chauvet

PANNEAUX DE LA PREMIÈRE PARTIE

