

Pour un enseignement conjoint Maths – SVT

Du pollen à toutes les sauces !

Direction : Sylviane Schwer

Co-concepteur & Rédacteur : Jonathan Faivre, enseignant en SVT au lycée Paul Eluard de St-Denis

Co-concepteur : Emmanuel Brunache enseignant de Mathématiques au lycée Paul Eluard de St-Denis

Merci à Claire Ganez-Lopez enseignante de Mathématiques au lycée Paul Eluard de St-Denis pour avoir testé cette séance en classe de 2nde.



Le terme de palynologie est apparu récemment, en effet, le terme d'analyse pollinique était couramment utilisé jusqu'à ce que les chercheurs Hyde et Williams proposent en 1944 le terme de palynologie, dans un rapport¹ du département de botanique du collège Oberlin dans l'Ohio on peut remarquer que le terme introduit par Hyde et Williams est repris pour diffusion :

« palynology [...] the study of pollens and other spores and their dispersal, and applications there of »

On voit que ce terme permet d'élargir le spectre d'étude des pollens à d'autres micro-structures retrouvées dans les strates sédimentaires. Si le terme a été en concurrence avec d'autres comme « analyse pollinique », « statistique pollinique » ou encore « science des pollens », le terme de « palynology » sera adopté assez rapidement par la communauté².

Ainsi, aujourd'hui la palynologie est la science qui étudie les pollens et les spores qu'ils soient actuels ou fossiles. Par extension la palynologie s'applique aussi aux végétaux qui sont extraits des roches au moment des prospections de terrains³ mais aussi aux formes enkystées des organismes. On regroupe tous les organismes susceptibles de produire des objets analysables par la palynologie, des organismes palynomorphes. Cette science telle qu'elle est définie ci-dessus a émergé il y a plus de 300 ans lorsque Nehemiah Grew, médecin et botaniste anglais, réalise les premières observations de grains de pollens à l'aide d'un microscope et les publie dans un ouvrage intitulé « *The Anatomy of Plants* », en 1682⁴.

De plus, en palynologie, le concept de pluie pollinique permet à l'observateur et à celui qui souhaite étudier les pollens et spores de mieux comprendre le support des études palynologiques et de mieux comprendre les interprétations qui découlent de leur étude. La pluie pollinique est constituée de tous les pollens et spores qui se déposent dans un endroit donné, pendant une période déterminée. Par exemple, on peut connaître la composition de la pluie pollinique actuelle en installant des capteurs à pollens spécialement conçus pour récolter les grains qui circulent dans l'air. On peut aussi utiliser des touffes de mousses, qui sont de bons pièges à pollens. Si la « pluie pollinique » est un outil conceptuel important pour les palynologues, c'est parce qu'ils considèrent qu'elle représente fidèlement la végétation⁵, parce qu'elle n'est pas perturbée ni modifiée par les méthodes d'extraction utilisées et parce que les chercheurs disposent des outils de détermination efficaces afin d'identifier les pollens et spores extraites⁶. D'autre part, les palynologues connaissent bien les perturbations qui peuvent l'affecter et possèdent les outils pour les corriger⁷.

D'un point de vue méthodologique, la palynologie débute toujours par des prélèvements sur le terrain, en général par carottage. Puis, les échantillons sont traités en laboratoire par des produits chimiques acides afin d'éliminer les restes végétaux et les minéraux indésirables. En effet, la paroi des spores et du pollen est très résistante, cela permet de les extraire des sédiments. Puis on procède ensuite à l'étude des échantillons au microscope afin d'identifier à quelle espèce végétale correspondent les pollens et les spores d'après leur morphologie et leur ornementation⁸.

En effet, connaître les assemblages de pollens et spores contenus dans les sédiments continentaux ou marins permet d'identifier les espèces végétales qui vivaient à une époque donnée. D'autre part, on sait également que chaque espèce est inféodée à un type de climat⁹. Ainsi, l'objectif de la palynologie est d'aboutir à la construction de diagrammes polliniques permettant de suivre la quantité relative des grains de pollens et spores dans des couches géologiques successives et donc

1 Pollen analysis circular no. 8, 28 octobre 1944, édité par Paul B. Sears, Department of Botany Oberlin College, Oberlin, Ohio

2 Kevin J. Edwards & Heather S. Pardoe (2018) How palynology could have been paepalology: the naming of a discipline, *Palynology*, 42:1, 4-19, DOI: [10.1080/01916122.2017.1393020](https://doi.org/10.1080/01916122.2017.1393020)

3 A. Foucault et J-F Raoult, « Dictionnaire de Géologie », éditions Dunod, 6ème édition, 2005 (1980)

4 Heidemarie Halbritter, Silvia Ulrich Friðgeir Grímsson, Martina Weber, Reinhard Zetter, Michael Hesse Ralf Buchner, Matthias Svojtka & Andrea Frosch-Radivo, « **Illustrated Pollen Terminology** », éditions open Springer, 2018, 2nde édition.

5 Richard Hervé. Palynologie et climat. In: Histoire & Mesure, 1988 volume 3 - n°3. Le climat. pp. 359-384;

6 Conférence « De la tourbière au diagramme pollinique », M. Reille, donnée au collège M. Pierre de Marvejols, le 6 mai 2009 (document en ligne : http://www.lyc-moulin-pezenas.ac-montpellier.fr/img/pdf/conf_MReille.pdf consulté le 10 juin 2019)

7 Jean Heim. Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. Université de Louvain, Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie, 1970.

8 Article « La palynologie » sur le site de l'INRAP : <https://www.inrap.fr/les-sciences-de-l-archeologie/La-palynologie> consulté le 10 juin 2019.

9 J-F Deconinck, « Paléoclimats l'enregistrement des variations climatiques », Société géologique de France, éditions Vuibert, coll. « interactions », 2006

par extension en fonction du temps. L'interprétation d'un diagramme pollinique permet donc d'accéder à des variations climatiques. Si les pollens et spores peuvent être récoltés dans des couches de roches couvrant l'ensemble de l'échelle stratigraphique¹⁰, cependant, notre étude sera centrée sur un exemple de variation climatique récent ancré dans les 20 000 dernières années couvrant ainsi les périodes géologiques de l'oligocène, du miocène, du pliocène (étages de l'ère tertiaire) et au quaternaire.

La séquence présentée dans le cadre de cette étude permet aux élèves de **comprendre la méthodologie associée à la palynologie**, d'en comprendre les intérêts dans le cadre d'une **reconstitution paléoenvironnementale** et de proposer des hypothèses quant à **l'évolution du climat** en s'appuyant sur des arguments scientifiques.

Il s'agit aussi de montrer, par une activité de SVT, qu'il est pertinent de représenter deux séries statistiques par des courbes de fréquences cumulées croissantes et que cette démarche est d'une très grande richesse. Cela montre que les **scientifiques dans leur ensemble** ont un vrai besoin de savoir **manipuler des données et de savoir représenter ces données de différentes manières**. **La variété des représentations (tableau, graphique...) est essentielle à l'analyse d'une problématique scientifique**. En effet, un scientifique ne peut pas analyser ses données si elles sont organisées en suite de nombres non ordonnée. Il doit les « ranger » puis les représenter pour pouvoir les analyser. Cette activité permet de prendre conscience de cette démarche préalable indispensable à la construction d'une interprétation cohérente.

L'interprétation mathématique est dans ce cas indispensable, loin d'être un simple outil pour le palynologue, **les mathématiques se révèlent être un passage obligatoire pour traiter les données polliniques récoltées**. La séquence se propose donc de montrer comment le dialogue entre les mathématiques et la palynologie peut se montrer riche en informations.

Enfin, cette **séquence s'ancre bien dans les nouveaux programmes de SVT** (figure 1 & 2) et de **mathématiques** dans le cadre d'un enseignement conjoints maths & SVT. Nous proposons la figure ci-dessous qui permet de récapituler les différentes possibilités d'exploitation de cette séquence dans la classe :

Nouveaux Programmes de SVT :			
Programme de 2nde GT	Rubrique : Sédimentation et milieux de sédimentation	<u>Ligne du BO :</u> Reconstituer un paléo-environnement de sédimentation à partir de l'étude d'une roche sédimentaire, en appliquant le principe d'actualisme.	NOR : MENE1901647A, arrêté du 17-1-2019 - J.O. du 20-1-2019
	Rubrique : La biodiversité change au cours du temps	<u>Ligne du BO :</u> La biodiversité évolue au cours du temps. Cette évolution est observable sur de courtes échelles de temps.	
Programme de Terminale enseignement spécifique	Rubrique : Les climats passés de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain	<u>Sous thème :</u> Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées. <u>Lignes du BO :</u> Rassembler et confronter une diversité d'indices sur le dernier maximum glaciaire et sur le réchauffement de l'Holocène (changement de la mégafaune dans les peintures rupestres, cartographie des fronts morainiques, construction et utilisation de diagrammes polliniques , terrasses, paléoniveaux marins...).	NOR : MENE1921252A arrêté du 19-7-2019 - J.O. du 23-7-2019
Programme de terminale enseignement scientifique	Thème 1: Science, climat et société	<u>Sous-thème :</u> 1.2 La complexité du système climatique <u>Ligne du BO :</u> Identifier des traces géologiques de variations climatiques passées (pollens, glaciers) .	NOR : MENE1921241A arrêté du 19-7-2019 - J.O. du 23-7-2019

Figure 1 : État des lieux des parties du programme des SVT qui sont concernées par la proposition de séquence présentée ci-dessous.

¹⁰ C. Pomerol, Y. Lagabrielle & M. Renard, « Éléments de géologie », éditions Dunod, 13ème édition, 2006 (1965)

Nouveaux Programmes de Mathématiques :			
Programme de 2 ^{de} GT	Thème : Fonctions	Lignes du BO : -consolider la notion de fonction, comme exprimant la dépendance d'une variable par rapport à une autre -exploiter divers registres, notamment le registre algébrique et le registre graphique ;	BOEN spécial n°1 du 22 janvier 2019
	Thème : Statistiques et probabilités	Sous-thème : Utiliser l'information chiffrée et statistique descriptive	
Programme de Terminale enseignement spécifique			
Programme de terminale enseignement scientifique			

Figure 2 : État des lieux des parties du programme de Mathématiques qui sont concernées par la proposition de séquence présentée ci-dessous.

Bibliographie (ouvrages et articles) :

- J-F Deconinck, « **Paléoclimats l'enregistrement des variations climatiques** », Société géologique de France, éditions Vuibert, coll. « interactions », 2006
- Kevin J. Edwards & Heather S. Pardoe (2018) « **How palynology could have been paepalology: the naming of a discipline** », Palynology, 42:1, 4-19, DOI: [10.1080/01916122.2017.1393020](https://doi.org/10.1080/01916122.2017.1393020)
- Alain Foucault et Jean-François Raoult, « Dictionnaire de Géologie », éditions Dunod, 6^{ème} édition, 2005 (1980)
- Heidmarie Halbritter, Silvia Ulrich Friðgeir Grímsson, Martina Weber, Reinhard Zetter, Michael Hesse Ralf Buchner, Matthias Svojtka & Andrea Frosch-Radivo, « **Illustrated Pollen Terminology** », éditions open Springer, 2018, 2^{de} édition.
- Jean Heim. « **Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale** ». Université de Louvain, Laboratoire de Palynologie et de Phytosociologie, 1970.
- Richard Hervé. « **Palynologie et climat** ». In: Histoire & Mesure, 1988 volume 3 - n°3. Le climat. pp. 359-384;
- C. Pomerol, Y. Lagabrielle & M. Renard, « **Éléments de géologie** », éditions Dunod, 13^{ème} édition, 2006 (1965)

Sitographie :

- Article « Nehemiah Grew » sur le site de l'encyclopédie Universalis (consulté le 10 juin 2019) : <https://www.universalis.fr/encyclopedie/nehemiah-grew/>
- Article « La palynologie » sur le site de l'INRAP : <https://www.inrap.fr/les-sciences-de-l-archeologie/La-palynologie> consulté le 10 juin 2019.
- Conférence « De la tourbière au diagramme pollinique », M. Reille, donnée au collège M. Pierre de Marvejols, le 6 mai 2009 (document en ligne : http://www.lyc-moulin-pezenas.ac-montpellier.fr/img/pdf/conf_MReille.pdf consulté le 10 juin 2019)

Du pollen à toutes les sauces !

Niveau : 2nde et prolongement en TS enseignement de spécialité

Nombre de séance : 3

Testé : oui

Mots clés : Pollen / diagramme pollinique / glaciation / climat / fréquences / fréquences cumulées croissantes / médiane / quartiles

Ce travail a pu être construit grâce aux nombreuses ressources et informations disponibles sur le site de l'IFE (Institut Français de l'Éducation).

L'objectif est d'analyser des données polliniques et de les interpréter à partir d'outils mathématiques afin de confirmer les interprétations climatiques qui sont effectuées à partir des pollens récoltés au sein de strates sédimentaires dont les âges ont été estimés.

Cette séquence a été construite dans le but de faire le **juste compromis entre le traitement du programme** et la mise en place d'un **enseignement inter-disciplinaire SVT - Maths**.

Enfin, cette séquence a été pensée pour aboutir à une **remédiation sur certaines notions mathématiques liées au traitement statistique**, ainsi elle répond à un besoin local et nous en proposerons des modalités de déroulement différentes.

La séquence est organisée autour de 3 séances successives qui sont adressées à des élèves de 2nde. Une adaptation proposée au niveau Terminale S dans le cadre des enseignements de spécialité est également proposée dans ce document.

Séance	Programme de SVT de 2nde	Programme de Maths de 2nde	Contenu de la séance	Capacités travaillées
1	Rubrique : Les échelles de la biodiversité		-Études de Lames contenant des grains de pollen -Biodiversité des espèces	-Extraire des informations de documents -Proposer et mettre en œuvre une démarche de résolution -Utiliser le microscope
2	Rubrique : La biodiversité change au cours du temps		-Variation de la biodiversité dans le temps	-Extraire des informations de documents -Utiliser le logiciel paléobiomes
3	Rubrique : La biodiversité change au cours du temps	Rubrique : Fonction Rubrique : Statistique et probabilité¹¹	-Étude mathématiques des données polliniques. -Variation de la biodiversité dans le temps	-Communiquer par un graphique -Passer des effectifs aux fréquences, calculer les caractéristiques d'une série définie par effectifs ou fréquences -Calculer des fréquences cumulées. -Représenter une série statistique graphiquement

Figure 3 : Résumé de la séquence proposée en 2nde dans le cadre d'un enseignement SVT – Mathématiques (les compétences surlignées en vert relèvent du champ des SVT et surlignées en jaune relèvent du champ des mathématiques)

¹¹ Programme d'enseignement de mathématiques de la classe de seconde générale et technologique arrêté du 17-1-2019 - J.O. du 20-1-2019 (NOR [MENE1901631A](#))

I) Focus sur les deux premières séances, reconnaissance et interprétation des données polliniques :

La **1ère séance** permet de poser les bases de la science qui s'intéresse au pollen, la palynologie. Cette science permet de retrouver les associations de végétaux qui ont pu se succéder dans un passé récent (centaines de milliers d'années). L'étude des cortèges de végétaux via cette méthode est à prendre avec précautions car tous les pollens retrouvés dans une strate offrent une vision de la biodiversité mais non exhaustive car cela ne concerne que les plantes à fleurs.

Cette 1ère séance permet d'illustrer la biodiversité spécifique à travers l'exemple des plantes à fleurs et en partant d'une situation déclenchante qui envisage la recherche du lieu d'un trésor par l'étude des grains de pollen retrouvés sur la clé d'un coffre.

Cette **mise en situation**¹² contient diverses informations :

- Une « carte au trésor » qui constitue le support de la situation problème.
- Trois « témoignages indigènes » qui imposent aux élèves de trouver une solution afin de faire un choix sur le bon témoignage.
- Une liste de matériel permettant aux élèves de proposer une démarche de résolution complète.

Cette séance est aussi l'occasion d'appréhender les différents critères attendus dans le cadre d'une démarche de résolution (Ce que je cherche, ce que je fais, avec quoi et ce que je m'attends à observer).

La première étape peut être consacrée à l'élaboration de la démarche individuellement¹³. Lorsque les élèves ont pu proposer la démarche de résolution suffisamment complète, un **protocole**¹⁴ expérimental détaillé peut leur être fourni. Cette étape est aussi l'occasion pour les élèves d'employer une fiche technique pour le logiciel « **Paléobiomes2** »¹⁵.

Les élèves disposent d'une lame contenant le prélèvement des grains de pollen sur la clé du coffre à retrouver, la lame peut-être préparée en amont ou être une lame du commerce dans ce cas peut-être faudra-t-il modifier la mise en situation. La fiche de reconnaissance des grains de pollen est celle de « paléobiomes » pour familiariser les élèves avec le logiciel.

On peut proposer aux élèves de choisir 2-3 grains de pollen qu'ils présenteront¹⁶. Dans ce cas une mise en commun pourra être faite afin de répondre au problème.

Retours sur la 1ère séance : La 1ère séance permet aux élèves de se confronter à une situation problème. Si les élèves ont déjà utilisé le microscope et si ces derniers ont déjà été familiarisés à l'utilisation de fiche technique elle se déroule très bien au cours d'une séance de 1 h 30 de TP.

La **2ème séance** est axée sur les utilisations des grains de pollen notamment dans la reconstitution des climats du passé ou paléoclimats. Cette séance utilise également le logiciel « paleobiomes ». Ce logiciel permet d'établir et d'interpréter des diagrammes polliniques. La séance doit aboutir à la validation de l'hypothèse d'un changement climatique étayé par les cortèges de végétaux et leur évolution dans le temps.

Cette séance débute sur une **situation problème**¹⁷ qui cette fois présente l'évolution climatique de ces 20 000 dernières années. L'idée est ici de faire construire une démarche de résolution par les élèves permettant de mettre en relation les variations climatiques et l'évolution des associations de

12 Cf : Annexe 5

13 Cf : Annexe 1 brouillon de l'élève 1

14 Cf : Annexe 5

15 **Académie de Toulouse** : <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/bankact/index.php?m=1&sm=1>

16 Cf : Annexe 2 extrait des copies de l'élève 2 et 3

17 Cf : Annexe 6

végétaux. Cette fois la démarche de résolution peut faire l'objet d'une évaluation sur les [critères](#)¹⁸ construits à la 1ère séance.

Puis un [protocole](#)¹⁹ détaillé peut-être fourni aux élèves.

A l'issue de la réalisation de ce protocole les élèves obtiennent trois [diagrammes polliniques](#)²⁰ et peuvent à partir du logiciel déterminer le climat global pour les trois périodes qui nous intéressent (-5000 ans, -13950 et -21095 ans)²¹.

Un [bilan](#)²² peut-être proposé à l'issue de cette séance permettant aux élèves de consolider leur travail et de valider l'idée que les cortèges de végétaux renseignent sur les climats passés et les variations climatiques à travers la variation de ces cortèges. La réflexion peut se porter sur la solidité d'une conclusion lorsque celle-ci s'appuie sur un petit nombre de données²³ et permet d'introduire la dernière séance qui permettra d'obtenir une répartition temporelle plus fine de la quantité de grains de pollens pour plusieurs espèces.

Un diaporama est proposé en suivant le lien suivant : [diaporama](#)

Retours sur la 2ème séance : La deuxième séance est également abordable pour les élèves sur une durée de 1 h 30 en TP

18 Académie de Rennes : <https://espaceeducatif.ac-rennes.fr/jahia/webdav/site/espaceeducatif3/users/jgerard2/public/bac/Bac%20terminale%20SVT%20-%20ECE.pdf>

19 Cf : Annexe 6

20 Cf : Annexe 6

21 Cf : Annexe 3 copies des élèves 1, 4 & 5.

22 Cf : Annexe 6

23 Cf : Annexe 3 copie de l'élève 5.

II) La 3ème séance, travail statistique et développement de l'esprit critique des élèves autour des données polliniques :

A) Séance initiale :

La **3ème séance** doit permettre aux élèves de prendre conscience de la méthode utilisée pour aboutir aux conclusions climatiques déjà abordées dans la séance 2²⁴. Les élèves peuvent prendre conscience de l'utilité des mathématiques pour construire des hypothèses quant à l'évolution du climat passé. Dans cette séance on s'attache à articuler les données biologiques avec les concepts et outils mathématiques afin d'établir des complémentarités entre les deux disciplines.

Dans le champ des mathématiques²⁵, l'enseignant de mathématiques peut intégrer cette séance dans le cadre du travail sur la partie relative aux « informations chiffrées et aux statistiques descriptives ».

Ainsi, **l'objectif de cette séance est de consolider les savoirs et savoir-faire des élèves dans le cadre d'une évaluation diagnostique post-enseignement**. Ainsi, le professeur peut aborder via cette séance les concepts de fréquences, de fréquences cumulées, d'intervalle de données et de retravailler la représentation graphique de cette répartition de façon simplifiée ou cumulée.

L'importance de cette construction graphique n'est pas anodine puisqu'elle permet, par la suite, aux élèves de s'exercer à la détermination de la médiane des quartiles et des interquartiles. Enfin, le cas concret choisis dans ce cadre d'étude palynologique permet de justifier avec les élèves l'intérêt de l'étude d'une médiane comparativement à celle d'une moyenne notamment dans le cadre des interprétations des transitions des cortèges polliniques.

Cette séance s'appuie sur plusieurs supports :

- Une [fiche activité](#)²⁶ pour les élèves qui s'articule autour de ressources ciblées sur les deux végétaux étudiés et une série de questions exploitables en classe de mathématiques.
- Un document pour les élèves permettant de recenser leur résultat si l'on souhaite réaliser les [calculs](#)²⁷ à la main.
- Un tableur permettant aux élèves de travailler sur un support informatique : version [xlsx](#) ou version [ods](#).

Des [aides](#)²⁸ peuvent être envisagées au cours de cette activité.

A la suite de cette séance on peut aboutir à ce type de traitement sur le tableur : [ici](#)²⁹

L'intérêt de cette méthode de travail est de montrer clairement aux élèves **l'articulation entre les mathématiques et les SVT**. En effet, l'idée est de les **contraindre à opérer un raisonnement en SVT en exploitant des données résultants de l'analyse statistique** et d'en tirer des conclusions quant à l'évolution climatique.

D'autre part, dans notre démarche initiale de diagnostic et de remédiation la mise en œuvre de cette séance permet d'identifier très rapidement les élèves qui ont développés les « automatismes » associés au traitement de données et à la construction graphique et détermination des paramètres statistiques, ceci dans le cadre d'un enseignement différencié ; en effet, les élèves n'ayant pas de difficultés sur les points évoqués pourront s'attacher à opérer une réflexion sur les données obtenues et sur les interprétations qu'il est possible de réaliser.

L'autre intérêt majeur de cette progression est de **développer l'esprit critique des élèves** face à des données statistiques qui pourraient être fournies. En effet, les conclusions qu'ils peuvent développer se font à l'échelle locale et se font également à partir de deux espèces uniquement.

24 Cf : Annexe 4 copies des élèves et illustration des adaptations possibles en classe de mathématiques

25 Programme d'enseignement de mathématiques de la classe de seconde générale et technologique arrêté du 17-1-2019 - J.O. du 20-1-2019 (NOR [MENE1901631A](#))

26 Cf : Annexe 7

27 Cf : Annexe 7

28 Cf : Annexe 7

29 Cf : Annexe 8

L'objectif est de leur faire prendre conscience que **l'étude des cortèges de végétaux** permet de **renforcer leurs conclusions et d'affiner les interprétations en terme de variations climatiques**. Cela permet ensuite d'élargir la réflexion à celle de la biodiversité à l'échelle des écosystèmes et plus largement des [biomes](#)³⁰, un support peut leur être fourni en fin de séance pour prolonger la réflexion.

Retours sur la 3ème séance : La 3ème séance est très longue si on décide de faire réaliser les calculs à la main sur le support documentaire. L'utilisation du tableur est nécessaire si on souhaite discuter avec les élèves autour des interprétations biologiques du traitement statistique de ces séries à l'issue de la séance.

L'appropriation des ressources fournies est assez simple, il est possible de laisser à la charge de l'enseignant de mathématiques le traitement des données et prolonger en SVT en interprétant les données et en élargissant la réflexion sur la méthode utilisée et ses limites.

On peut envisager un prolongement de cette séance en mathématiques notamment avec le tracé de courbes de tendance et calculs de coefficient directeur permettant d'envisager des vitesses d'apparition et de disparition.

B) Séance version tâche complexe :

La séance peut aussi être envisagée en tâche complexe.

Dans ce cas on peut proposer la consigne suivante :

« En tant que géologue votre laboratoire de recherche vous missionne sur le site de Banyoles. Votre objectif est d'exploiter d'un point de vue statistique les données polliniques de Banyoles afin d'en tirer des conclusions quant à l'évolution climatique dans la région de Banyoles. Vous expliquerez également à votre chef de laboratoire en quoi les données qu'il vous a fournies ne sont pas suffisantes et pourquoi il serait nécessaire de poursuivre les prospections dans la région de Banyoles »

Les supports documentaires directement accessibles aux élèves sont :

- Le tableur des données polliniques présentés ci-dessus en version [xlsx](#) ou [ods](#).
- Le logiciel « [paléobiomes2](#)³¹ »
- La fiche technique du logiciel « paleobiomes2 »

Plusieurs documents peuvent être demandés par les élèves ou donnés par le professeur lorsque les élèves identifient un besoin d'informations pour progresser dans leur démarche :

- Un [protocole](#) pour retrouver les exigences climatiques des espèces.
- Des [aides](#) permettant d'exploiter les données en calculant des fréquences et fréquence cumulée.
- Une aide à l'exploitation de la [médiane](#).
- La [répartition des biomes](#) terrestres associés à la définition de biomes permettant de faire réfléchir les élèves autour des limites de l'étude de deux espèces.

III) Un prolongement possible en Terminale S :

De nombreux sujets d'ECE portent sur l'étude de tourbes dans le cadre d'une identification des espèces de plantes à fleurs.

Ces ECE pourraient être couplés à une analyse statistique afin d'axer le développement de l'esprit critique chez les élèves.

Matériel nécessaire pour mettre en œuvre la séquence : Lames de commerce dans lesquelles on peut retrouver des cortèges de grains de pollen / logiciel paléobiomes 2

³⁰ <http://www.professeur-noyau.net/ecolo/biomes.html>


³¹ Académie de Toulouse : <http://pedagogie.ac-toulouse.fr/svt/serveur/bankact/index.php?m=1&sm=1>

Annexe 1 : Brouillon de l'élève 1 concernant la démarche de résolution.

- Dans les indications des indigènes nous avons des noms d'espèce d'arbre.
- On a à disposition une lame qui correspond à un prélèvement qui a été fait.
- Nous avons à disposition un microscope et examiner quelle arbre possédait le pollen.

Annexe 2 : Étude des grains de pollen de la lame fournie en TP.

Hippophae rhamnoides

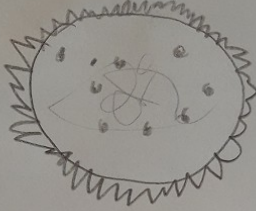


L'argousier est une espèce d'arbre dioïque épineux, originaires des zones tempérées d'Europe et d'Asie. Il est bien représenté également dans les régions subtropicale d'Asie, en altitude.

Hippophae rhamnoides appartient à la famille des Élaéagnacées.

Extrait de la copie de l'élève 2.

Nénuphar

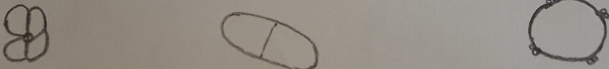


Les Nymphaeacées sont une famille à fleurs. Les deux principaux genres sont Nymphae et Nuphar. Es sont des plantes en France par le nénuphar jaune.

Extrait de la copie de l'élève 2.

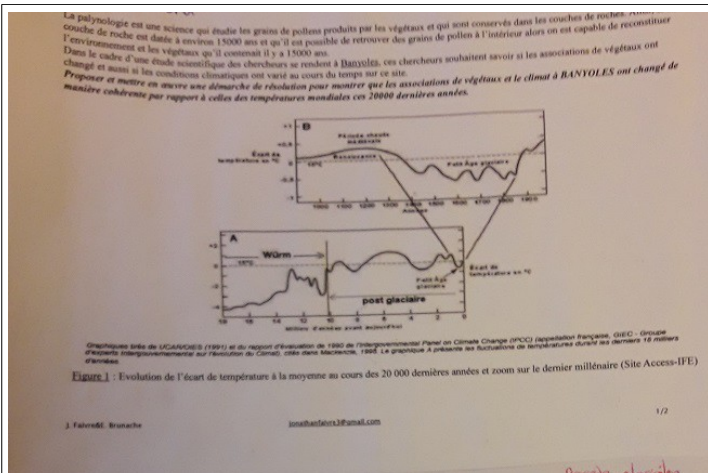
Nous avons prélevé sur une lame un échantillon de pollen et nous avons pu remarquer sa forme plutôt ronde avec des traits bien voyant qui ont le même milieu (qui se rejoignent). Puis nous avons vu une autre forme de pollen et nous avons pu constater qu'il n'est pas rond mais plutôt allongé, puis enfin nous avons vu un et sa forme est ronde mais avec des pointes sur certains côtés.

1. Bruyères 2. Apiacées 3. Aulnes



Extrait de la copie de l'élève 3.

Annexe 3 : Quelques production d'élèves réalisées au cours de la 2ème séance.

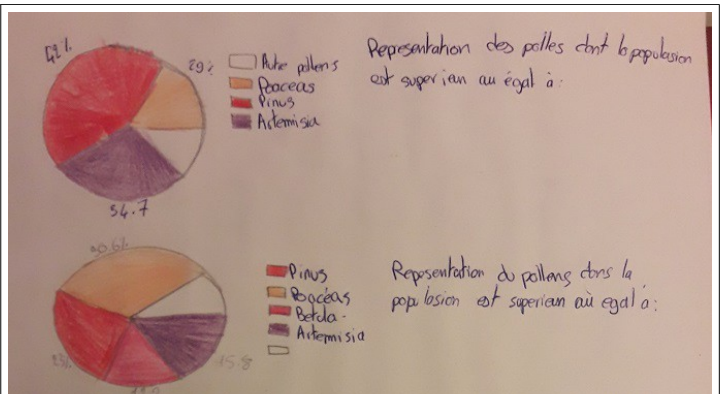


la température sur terre est inférieure à 5°C entre -20 000 et -10 000 ans (Pénultième glaciaire)
 la température sur terre est supérieure à 15°C entre -10 000 et l'actuel (T₃) (post-glaciaire)
 Les végétaux ont des exigences de T° années
 A Banyoles nous allons étudier les pollens dans des roches âgées de -20 000, -10 000 et -5000 ans

présentation du pollens dans la population est supérieur ou égal à :

- Euphorbia
- Pinus
- Poaceae
- Quercus ilex
- Quercus robur
- autres pollens

1ère page de la copie de l'élève 4 réalisée lors de la 2ème séance.



Représentation des pollens dont la population est supérieur ou égal à :

Représentation du pollens dont la population est supérieur ou égal à :

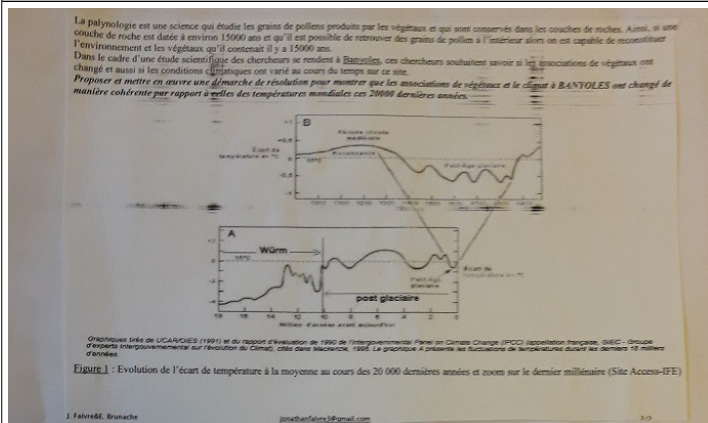
Les associations de végétaux à Banyoles ont évolué entre -20 000 et l'actuel

- le Poaceae sont moins présents
- l'Artemisia a disparu
- l'Artemisia au Armaux a une grande tolérance au froid hivernal et sec.
- Les Poaceae ont les mêmes exigences au froid hivernal
- Les quelques ilex ne supporte pas les gelées répétées dont le froid.
- Le Quercus robur

Donnée climatique mondiale

Conclusion: Le climat à Banyoles semble suivre la même évolution que dans le monde mais il faudrait étudier les associations de végétaux sur toute la période entre 0 et -20 000 ans pour en être sûr

2ème page de la copie de l'élève 4 réalisée lors de la 2ème séance.



De -19 000 ans à 10 000 ans la T° mondiale est inférieure à 5°C.
 => Période glaciaire

- De -10 000 ans à l'actuel la T° mondiale est supérieure à 15°C (climats)
 => Période interglaciaire.

Je vais étudier des roches datées entre -20 000 ans et l'actuel à Banyoles.
 -> Je vais regarder si il y a certains grains de pollens de végétaux.

Les végétaux ont pas tous les mêmes besoins en températures, il y en a qui préfère beaucoup de soleil et d'autres qui ont besoin.

Les artemisia (ou Armaux) sont des plantes qui ont une grande tolérance au froid hivernal.

Pour les Poaceae sont pareil. (Maïs, blé, seigle, etc.)

Le Quercus ilex (ou le chêne à feuilles persistantes) ne supporte pas les gelées (froid).

Le Quercus robur (ou chêne à feuilles caduques) aime l'hiver ouest.

Il y a 5000 ans le climat était plutôt tempéré on en retrouve des végétaux qui aiment pas le froid.

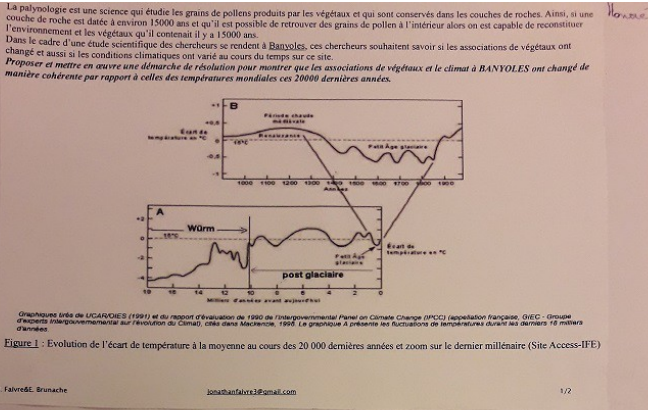
Il y a 21 000 ans et 12 000 ans le climat était très froid on ne retrouve pas de chêne d cette époque et en plus on retrouve des végétaux qui aiment le froid et qui résistent au froid (Artemisia et Betula).

Donnée climatique mondiale

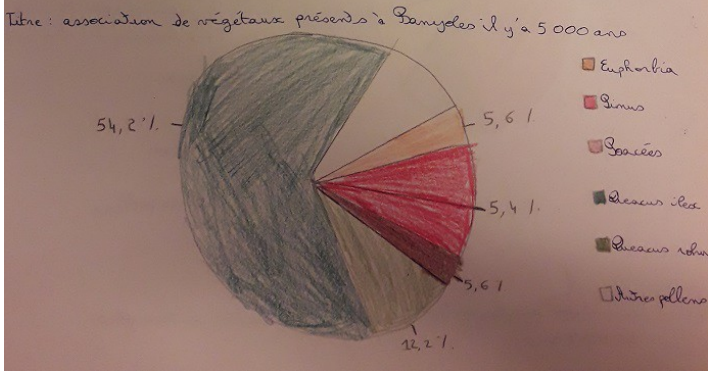
ANNOLES

Etude des associations de végétaux montre que le climat à Banyoles de la même manière que dans le monde.

1ère page (à gauche) et 2ème page (à droite) de la copie de l'élève 1 réalisée lors de la 2ème séance.



Entre -20 000 et -10 000 ans, la température sur terre est (période glaciaire) inférieure à 15°C. Entre -10 000 ans et l'actuel, la température sur terre est supérieure à 15°C (période interglaciaire). Les végétaux ont des exigences de températures variées. À Banyoles, on va étudier les fossiles de pollens dans des roches âgées de -20 000 ans, de -10 000 ans, et de -5 000 ans.



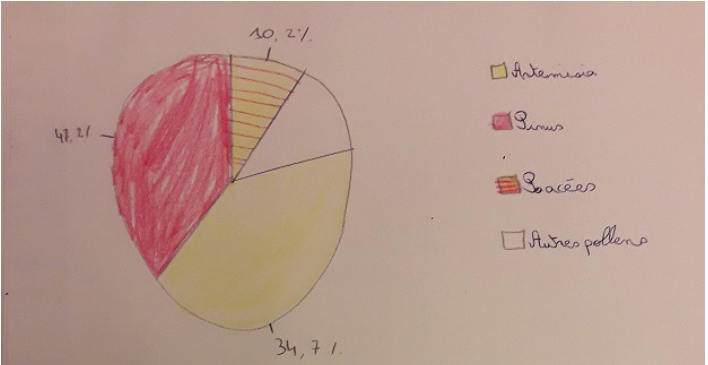
L'Antémisia ou amorce a une grande tolérance aux froids hivernaux. Les Poacées ont les mêmes exigences aux froids hivernaux. Quercus ilex ou chêne à feuille persistante n'aime pas le froid. Quercus robur ou chêne à feuille caduque n'aime pas trop le froid. Les associations de végétaux à Banyoles ont évolué entre -20 000 ans et l'actuel.

① Les Poacées sont moins présentes / Antémisia est disparu. Et elles n'aiment pas le froid.
 → Le milieu climat s'est réchauffé à Banyoles

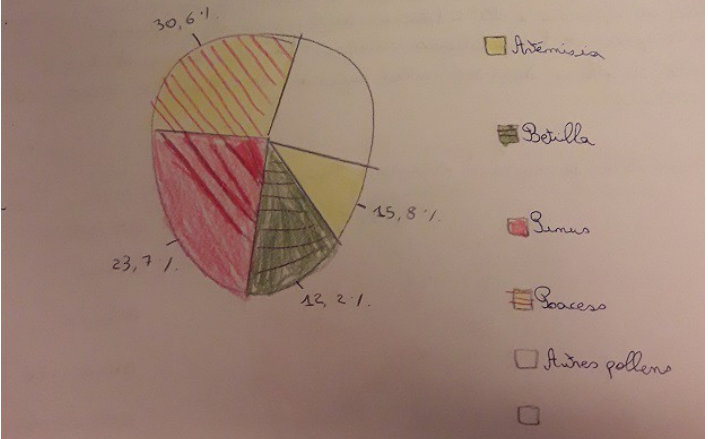
② Les deux espèces de chêne apparaissent après -10 000 ans
 → Le climat s'est réchauffé à Banyoles

Données climatiques mondiales

Conclusion : le climat à Banyoles semble suivre la même évolution que dans le monde mais il faudrait étudier les associations de végétaux sur toute la période entre 0 et 20 000 ans.



Titre : Association de plantes (pollens) dans les roches de Banyoles il y a -20 314 ans



Titre : Association des plantes (pollens) dans les roches de Banyoles il y a -12 600 ans

1ère page (en haut à gauche), 2ème page (en haut à droite) et 3ème page (en bas à gauche) de la copie de l'élève 5 réalisée lors de la 2ème séance.

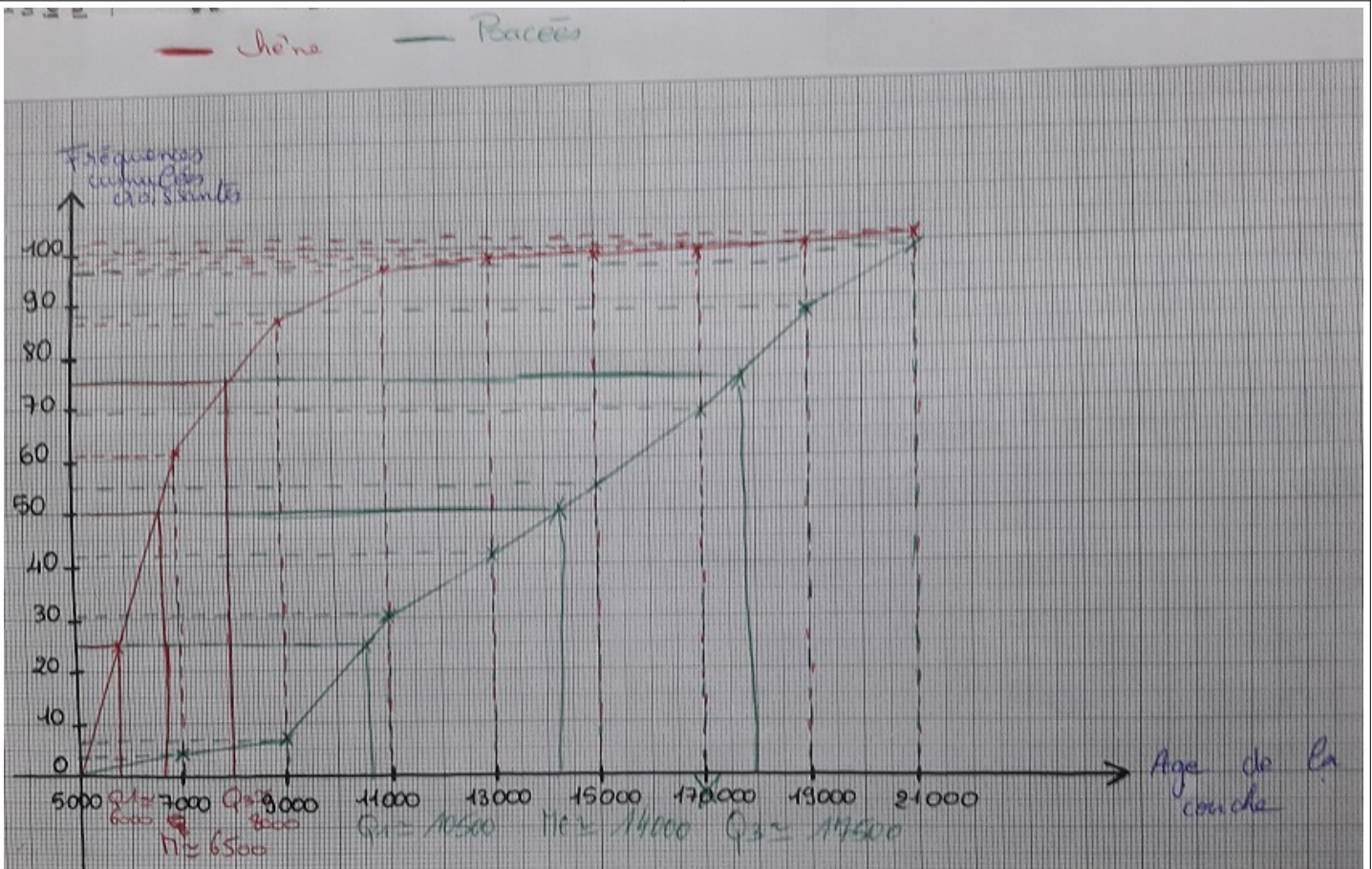
Annexe 4 : Quelques productions d'élèves réalisées au cours de la 3ème séance

Age de la couche	[5000;7000[	[7000;9000[	[9000;11000[	[11000;13000[	[13000;15000[	[15000;17000[	[17000;19000[	[19000;21000[
Quantité de pollen	654	284	113	7	19	5	3	4
Fréquence	$\frac{654}{1089} = 0,602$	$\frac{284}{1089} = 0,261$	$\frac{113}{1089} = 0,104$	$\frac{7}{1089} = 0,006$	$\frac{19}{1089} = 0,017$	$\frac{5}{1089} = 0,004$	$\frac{3}{1089} = 0,003$	$\frac{4}{1089} = 0,004$
Fréquence en pourcentage	60,2%	26,1%	10,4%	0,6%	1,7%	0,4%	0,3%	0,4%
Fréquences cumulées croissantes en %	60,2%	86,2%	96,6%	97,2%	98,9%	99,4%	99,7%	100,1%

Extrait n°1 de la copie réalisée lors de la 3ème séance par l'élève 6 – données pour le chêne à feuilles caduques

Age de la couche	[5000;7000[	[7000;9000[	[9000;11000[	[11000;13000[	[13000;15000[	[15000;17000[	[17000;19000[	[19000;21000[
Quantité de pollen	30	18	187	97	93	111	148	89
Fréquence	0,039	0,023	0,240	0,125	0,125	0,142	0,190	0,114
Fréquence en pourcentage	3,9	2,3	24	12,5	12,5	14,2	19	11,4
Fréquences cumulées croissantes en %	3,9	6,2	30,2	42,7	55,2	69,4	88,4	100,1

Extrait de la copie réalisée lors de la 3ème séance par l'élève 7 – données pour la famille des poacées



Extrait n°2 de la copie réalisée lors de la 3ème séance par l'élève 6

I - Pour les chênes

Pour les pollens de chênes on trouve:

Q1 ≈ 6000 ans (25%)

Me ≈ 6500 (50%)

Q3 ≈ 8000 ans (17%)

75% des pollens de chênes se sont déposés entre 5000 ans et 8000 ans

ça signifie qu'il y avait des chênes à cette période récente, mais pas ou très peu il y a plus de 8000 ans du raison: il faisait trop froid.

II - Pour les poacés

Q1 ≈ 10500 ans

Me ≈ 14000 ans

Q3 ≈ 17500 ans

La moitié des pollens de poacés se sont déposés avant 14000 ans.

On imagine donc que dans les périodes les + anciennes la végétation était surtout constituée de graminées (herbe) sans arbres ou presque

Extrait de la copie de l'élève n°8 permettant d'illustrer des éléments de conclusion tirés de la 3ème séance

I - pour les chênes

pour les pollens de chêne on trouve

Q1 ≈ 6000 ans

Me ≈ 6500

Q3 ≈ 8000

75% des pollens de chênes se sont déposés entre 5000 et 8000 ans. ça signifie qu'il y avait des chênes à une période récente, mais pas ou très peu il y a plus de 8000 ans

la raison: avant il faisait trop froid

II pour les poacés

Q1 ≈ 10500 ans

Me ≈ 14000 ans

Q3 ≈ 17500 ans

La moitié des pollens de poacés se sont déposés avant 14000 ans. On imagine donc que dans les périodes les + anciennes la végétation était surtout constituée de graminées (herbe) sans arbres ou presque

la raison: il faisait très froid

Extrait de la copie de l'élève n°9 permettant d'illustrer des éléments de conclusion tirés de la 3ème séance

Annexe 5 : Documents ressources de la séance 1 de la séquence proposée.

Le pollen, un outil biologique riche d'information

Vous êtes le scientifique du Black Pearl et vous participez à une mission qui consiste à rechercher un coffre au trésor situé sur l'île de Tourm'enron. En bon Capitaine Jack Sparrow dispose d'une carte et d'une clé. Mais arrivé sur le lieu présumé du coffre rien y fait l'équipage a beau creuser le coffre n'y ait pas. Soudain, vous entendez dans les sous bois des rires d'indigènes, le capitaine ordonne alors d'arrêter les trois indigènes. Vous comprenez que les indigènes savent où est le coffre mais leurs indications sont plus que nébuleuses ... ce qui n'est pas pour calmer le capitaine.

1^{er} indigène : « Le coffre se situe près de la grotte des damnés au centre de l'île la ou les pins sylvestres, les chênes et les frères se développent avec ardeur. »

2^{ème} indigène : « Que néni capitaine ! Le coffre se situe à l'Est dans les plaines riches en graminées bordant les côtes ou réside le grand serpent de mer. »

3^{ème} indigène : « Ne les écoutez pas ! Au sud ouest de l'île se trouve des montagnes dont les flancs sont recouverts de mélèzes, d'épicéas, de pins et de sapins. Assurément c'est là qu'est le coffre



Figure 1 : La carte au trésor de Jack Sparrow

(<https://www.annikids.com/FR/article-132014/4-cartes-au-tresor-red-pirate.html>)



Figure 2 : La clé du coffre (<http://cardio-respiratoire/560814623-La-cle-du-coffre-du-mort.html>)

Figure 3: En tant que scientifique du bord, vous disposez d'un équipement composé notamment d'un kit de prélèvement des grains de pollens, de lames et d'un microscope. Vous disposez également d'une clé d'identification des grains de pollen.

En vous appuyant sur les ressources disponibles, vous proposerez une démarche de résolution afin de savoir quel indigène dit vrai et enfin trouver le coffre tant convoité !

J. Faivre&E. Brunache

jonathanfaivre3@gmail.com

Protocole à suivre pour répondre au problème :

- Récupérer la lame correspondant au prélèvement sur la clé du coffre
- Observer la lame au microscope optique
- Repérer les différents grains de pollen présents.
- Réaliser un dessin d'observation d'un grain de pollen que vous aurez choisi.
- Ouvrir le logiciel « paleobiomes2 »
- Puis cliquer sur l'onglet « identifier les taxons »
- Ensuite choisir l'onglet « identifier les grains de pollen »
- Puis accéder à la « planche de détermination des grains de pollen »
- Lister les espèces représentées dans votre lame.

Annexe 6 : Documents ressources de la séance 2 de la séquence proposée.

La palynologie est une science qui étudie les grains de pollens produits par les végétaux et qui sont conservés dans les couches de roches. Ainsi, si une couche de roche est datée à environ 15000 ans et qu'il est possible de retrouver des grains de pollen à l'intérieur alors on est capable de reconstituer l'environnement et les végétaux qu'il contenait il y a 15000 ans.

Dans le cadre d'une étude scientifique des chercheurs se rendent à **BANYOLES**, ces chercheurs souhaitent savoir si les associations de végétaux ont changé et aussi si les conditions climatiques ont varié au cours du temps sur ce site.

Proposer et mettre en œuvre une démarche de résolution pour montrer que les associations de végétaux et le climat à BANYOLES ont changé de manière cohérente par rapport à celles des températures mondiales ces 20000 dernières années.

Graphiques tirés de LAGANDEZ (1991) et du rapport d'évaluation de 1990 de l'intergouvernemental Panel on Climate Change (IPCC) (Organisation Française, OIEC - Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat, CMES dans Mouchart, 1999). Le graphique A présente les fluctuations de températures durant les derniers 12 millénaires.

Figure 1 : Evolution de l'écart de température à la moyenne au cours des 20 000 dernières années et zoom sur le dernier millénaire (Site Access-IFE)

J. Faivre&E. Brunache jonathanfaivre@gmail.com 1/2

Proposition de mise en situation

Protocole détaillé permettant de déterminer s'il existe un lien entre l'évolution des associations végétales et du climat récent :

- 1-Ouvrir paleobiomes
- 2-Cliquer sur l'onglet fichier et sur « ouvrir une base de données polliniques »
- 3-Puis cliquer sur l'onglet « sites avec séquences datées jusqu'au dernier maximum glaciaire (-21000ans) »
- 4-Cliquer ensuite sur « représenter les données » et choisir les « données polliniques » du site « Europe »
- 5-Une nouvelle fenêtre s'ouvre avec la carte de l'Europe et des sites (carrés)
- 6-Cliquer sur le site de BANYOLES (latitude 42,12 et longitude 2,75).
- 7-Une liste d'arbres apparaît.
- 8-Afficher les spectres polliniques pour le site et régler le pourcentage à 5 %
- 9-Reprendre sur votre compte-rendu ces spectres pour les trois ages (5000 ans, 13 950 ans et 21 095 ans)
- 10-Un clique droit sur un végétal donne ses conditions climatiques de vie.
- 11-A partir de ces informations **reconstituer les conditions climatiques** pour ces trois ages. **Noter** vos réponses sur votre compte-rendu.

Proposition de protocole détaillé

5000 ans	13950 ans	21095 ans
54,2%	21,7%	22,7%
5,6%	12,1%	16,8%
9,4%	45,1%	53%
12,2%		
5,5%		

■ Euphorbia
■ Pinus
■ Poaceae
■ Quercus ilex type
■ Quercus robur type
■ Autres pollens (< 5 % chacun)

Copie d'écran du logiciel « paleobiomes »

Copie d'écran montrant les diagrammes polliniques possibles

Enfinement, retrouver des grains de pollens dans des couches de roches datées permet de connaître en un lieu précis les végétaux qui vivaient à cette date.

Un fois qu'un chercheur a identifié les végétaux présents en un lieu précis (**diagramme pollinique**) et pour une date donnée, il est capable de retrouver les conditions climatiques nécessaires au développement de ces végétaux.

Ainsi, le chercheur peut reconstituer le climat de l'époque en utilisant les végétaux qui étaient présents à cette époque. Il retrouve le climat de façon indirecte.

Cette méthode permet de reconstituer des climats dans le passé et ses variations

Cette méthode permet aussi de comprendre que les végétaux présents dans le passé, en un lieu donné, n'étaient pas toujours les mêmes que ceux présents actuellement. Or on sait qu'un écosystème correspond à l'association entre des végétaux et leur milieu.

Ainsi, en observant une variation de la diversité des espèces au cours du temps, on peut donc dire que la **biodiversité spécifique est variable dans le temps**.

De plus nous avons pu mettre en relation cette variation de la biodiversité spécifique avec des changements du milieu (climat). Il y a donc aussi des **variations de la biodiversité des écosystèmes au cours du temps**.

Proposition de Bilan

Annexe 7 : Documents ressources de la séance 3 de la séquence proposée.

Reconstituer l'Histoire d'un paléoenvironnement : L'exemple de Banyoles

Nous avons vu qu'il était possible de confirmer des variations climatiques majeures grâce à l'étude de la répartition des ensembles de végétaux dans le temps. Cependant, est-il possible de retracer « l'histoire climatique » d'une région en étudiant la répartition des grains de pollens au cours des temps géologiques ?
On se propose de retracer l'histoire climatique de la région de Banyoles en utilisant les données palynologiques (grains de pollen) dans le cadre d'un traitement statistique.

<p>Nom scientifique : <i>Quercus robur type</i></p> <p>Le chêne est l'arbre le plus présent dans les forêts européennes actuelles. Ces chênes à feuilles caduques se développent sous les climats tempérés. L'aspect du pollen ne permet pas d'attribuer avec précision à quelle espèce de chêne à feuille caduque il appartient. C'est pourquoi ce groupe est nommé « Quercus robur type ».</p>	<p>Nom commun : Chênes à feuille caduques</p> <p>Catégorie (strate) : Arbres</p> <p>Préférences climatiques : Hivers frais ou doux - sécheresse modérée en été.</p>
---	--

Figure 1 : Quelques caractéristiques et exigences du chêne à feuilles caduques - logiciel paleobiomes

<p>Nom scientifique : Poacées</p> <p>Ces plantes herbacées constituent l'essentiel des herbes de nos prairies. Elles sont avant tout présentes sur les zones peu ou pas arborées. Ces espèces sont très nombreuses et cosmopolites (savanes, prairies, steppes...). Appartient aussi graminées dans l'ancienne nomenclature.</p>	<p>Nom commun : Poacées</p> <p>Catégorie (strate) : Herbacées</p> <p>Préférences climatiques : Grande tolérance aux froids hivernaux - sécheresse estivale tolérée.</p>
---	--

Figure 2 : Quelques caractéristiques et exigences de la famille des Poacées (blé, orge, ...) - logiciel paleobiomes

Age de la couche étudiée (en années)	Quantité de pollen de <i>Q. robur type</i>	Quantité de pollen de <i>Alnus</i>	Quantité de pollen de Poacées (famille des graminées)	Quantité de pollen totale retrouvée
5000	156	9	16	261
5600	231	2	5	348
6450	91	0	7	233
6909	176	1	2	298
7600	208	1	9	296
8390	76	0	9	200
9350	77	0	43	316
9950	23	0	57	284
10500	13	0	87	297
11350	5	2	68	176
12000	2	0	29	140
13700	19	0	53	190
14350	0	0	45	176
15200	5	0	111	253
17000	2	0	82	596
18672	1	0	66	410
20724	4	0	89	510
Total				

Figure 3 : Répartition des grains de pollens retrouvés dans différentes couches de roches pour le site de Banyoles, les données sont classées par ages (logiciel paleobiomes)

Feuille de travail de l'élève p. 1 (modifiable)

Intervalle statistique	Quantité de pollen de <i>Q. robur type</i>	Quantité de pollen de <i>Alnus</i>	Quantité de pollen de Poacées (famille des graminées)	Quantité de pollen de <i>Alnus</i>	Quantité de pollen totale retrouvée
[4500 ; 5000]	156		16	9	261
	231		5	2	348
	91		7	0	233
	176		2	1	298
	208		9	1	296
	76		9	0	200
	77		43	0	316
	23		57	0	284
	13		87	0	297
	5		68	2	176
	2		29	0	140

	19		53		0	190
	0		45		0	176
	5		111		0	253
	2		82		0	596
	1		66		0	410
	4		89		0	510
Total						

Document de travail pour l'élève (modifiable)

- Question 1 :** Transformer les différents ages en tranches d'age exploitables en statistique.
- Question 2 :** Calculer la quantité de pollen totale retrouvée pour le chêne à feuilles caduques, les Poacées et *Alnus*.
- Question 3 :** Calculer les fréquences des grains de pollen du chêne à feuilles caduques pour chaque classe d'age.
Faites le détail d'un de vos calculs sur votre feuille.
- Question 4 :** Calculer les fréquences des grains de pollen des Poacées pour chaque intervalle d'age.
Faites le détail d'un de vos calculs sur votre feuille.
- Question 5 :** Calculer les fréquences cumulées croissantes des grains de pollen du chêne à feuilles caduques pour chaque intervalle d'age.
- Question 6 :** Calculer les fréquences cumulées croissantes des grains de pollen des Poacées pour chaque intervalle d'age.
- Question 7 :** Construire la courbe des fréquences cumulées croissantes pour le chêne à feuilles caduques.
Positionner les points sur la borne supérieure de chaque classe.
- Question 8 :** Construire la courbe des fréquences cumulées croissantes pour les Poacées sur le même graphique.
Positionner les points sur la borne supérieure de chaque classe.
- Question 9 :** Utiliser les courbes des fréquences cumulées croissantes et les figures 1 et 2 pour proposer une hypothèse quant au rôle du climat dans cette répartition.
- Question 10 :** Définir la médiane d'une série statistique.
- Question 11 :** Déterminer graphiquement, la médiane de ces deux séries statistiques qu'on appellera âge médian.
- Question 12 :** Interpréter les données de l'âge médian pour confirmer ou réfuter l'hypothèse proposée
- Question 13 :** Déterminer graphiquement les ages correspondants aux 1^{er} et 3^{ème} quartiles pour les deux espèces étudiées.
- Question 14 :** Expliquer pourquoi l'étude de ces quartiles renforce-t-elle la validation de l'hypothèse proposée ?
- Question 15 :** Estimer l'intervalle d'age correspondant à l'écart inter-quartile pour les deux espèces étudiées.
- Question 16 :** Faire preuve d'esprit critique en discutant les résultats de l'étude statistique.
- Question 17 :** Faire preuve d'esprit critique en confrontant vos conclusions avec les données climatiques de la séance 2 réalisée en TP de SVT.
- Question 18 :** Comment expliquer l'écart entre vos conclusions et les données climatiques ?

Feuille de travail de l'élève p. 2 (modifiable)

Aide n°1 : Calcul de la fréquence

La fréquence des grains de pollen correspond à la proportion de grains de pollen d'une espèce donnée par rapport à la quantité totale de grains de pollen retrouvés pour cette espèce.

Exemple : $X_{[p;500]}$ / Na
 $x_{[p;500]}$ étant la quantité de pollen de l'espèce a dans l'intervalle]0;500]
 N étant la quantité totale de pollen de l'espèce a

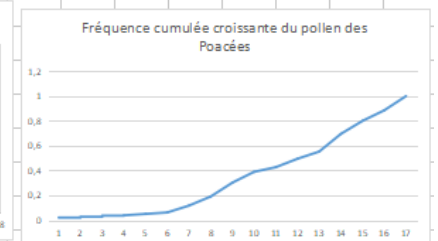
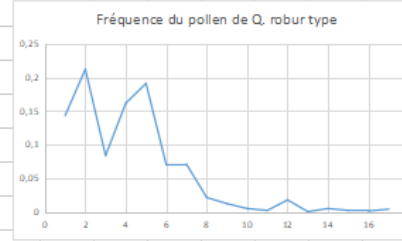
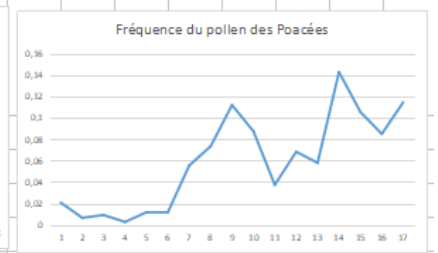
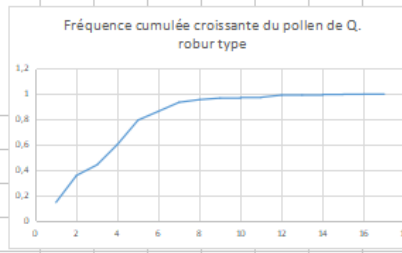
Aide n°2 : Calcul de la fréquence cumulée

La fréquence cumulée correspond à l'addition progressive des fréquences calculées pour chaque intervalle.
 L'addition est cumulative, c'est-à-dire que la fréquence cumulée au 2ème intervalle correspond aux fréquences du 1^{er} et 2ème intervalle additionnées. La fréquence cumulée au 3ème intervalle correspond aux fréquences du 1^{er}, 2ème et 3ème intervalle additionnées.

Aides possibles pour les élèves (modifiable)

**Annexe 8 : Documents ressources de la séance 3 de la séquence proposée.
Exemple de traitement des données polliniques avec Excell.**

Intervalle s d'age	Quantité de pollen de Q. robur type	Fréquence du pollen de Q. robur type	Fréquence cumulée croissante du pollen de Q. robur type	Quantité de pollen de Poacées (famille des graminées)	Fréquence du pollen des Poacées	Fréquence cumulée croissante du pollen des Poacées	Quantité de pollen de Alnus	Quantité de pollen totale retrouvée
[4500 ; 5000]	156	0.143250689	0.143250689	16	0.020565553	0.020565553	9	261
[5000 ; 5600]	231	0.212121212	0.355371901	5	0.006426735	0.026992288	2	348
[5600 ; 6450]	91	0.083562903	0.438934803	7	0.008997429	0.035989717	0	233
[6450 ; 6909]	176	0.161616162	0.600550964	2	0.002570694	0.038560411	1	298
[6909 ; 7600]	208	0.191000918	0.791551882	9	0.011568123	0.050128535	1	296
[7600 ; 8390]	76	0.069788797	0.86134068	9	0.011568123	0.061696658	0	200
[8390 ; 9350]	77	0.070707071	0.93204775	43	0.055269923	0.116966581	0	316
[9350 ; 9950]	23	0.021120294	0.953168044	57	0.073264781	0.190231362	0	284
[9950 ; 10500]	13	0.011937557	0.965105601	87	0.111825193	0.302056555	0	297
[10500 ; 11350]	5	0.004591368	0.96969697	68	0.087403599	0.389460154	2	176
[11350 ; 12000]	2	0.001836547	0.971533517	29	0.037275064	0.426735219	0	140
[12000 ; 13700]	19	0.017447199	0.988980716	53	0.068123393	0.494858612	0	190
[13700 ; 14350]	0		0.988980716	45	0.057840617	0.552699229	0	176
[14350 ; 15200]	5	0.004591368	0.993572084	111	0.142673522	0.695372751	0	253
[15200 ; 17000]	2	0.001836547	0.995408632	82	0.105398458	0.800771208	0	596
[17000 ; 18672]	1	0.000918274	0.996326905	66	0.084832905	0.885604113	0	410
[18672 ; 20724]	4	0.003673095		89	0.114395887		1	510
Total	1089			778			15	



LA BORNE EXTERIEURE DE L'INTERVALLE CORRESPOND A LA VALEUR MAXIMALE DE L'INTERVALLE