

Foraminifères *L'océan à la loupe*



La nouvelle exposition du Muséum des sciences naturelles, en lien avec les recherches du Laboratoire CNRS de l'université d'Angers, nous invite à découvrir la diversité et la biologie des **foraminifères**. Ce voyage en milieu marin met l'accent sur la **démarche scientifique** et révèle le rôle de ces êtres vivants unicellulaires comme **bio-indicateurs actuels de l'état de santé de nos océans**.

L'étude des foraminifères fossiles en lien avec la **paléoclimatologie** permet également d'aboutir à **une lecture des climats passés et à venir**. L'esthétisme de ces êtres majoritairement microscopiques est mis à l'honneur par la dimension artistique donnée à cette présentation.



Informations pratiques

> Contact – Renseignements – Réservations : Service culturel pour les publics
02 41 05 38 38 (10h-12h et 14h-17h) / serviceculturel.musees@ville.angers.fr

> Visite libre (à partir de la 4^e)

> Exposition visible du 19 mai 2021 au 3 juillet 2022

Dossier conçu par Corinne BAQUÉ et Stéphane LORET
Enseignants de sciences et vie de la terre et d'arts plastiques,
Coordonnateurs pour les musées d'Angers,
Octobre 2020

Fiche d'identité des foraminifères

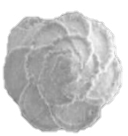
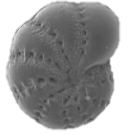
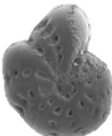
Origine du nom foraminifère	Vient du latin « <i>foram</i> » signifiant petit trou et de « <i>ferre</i> » qui veut dire porter
Découverte/Histoire des sciences	Première observation au 5 ^e siècle av. J.-C. par Hérodote de formes lenticulaires dans les calcaires des pyramides de Khéops (Égypte). Au 15 ^e siècle, Léonard de Vinci reconnaît ces formes fossiles comme organismes vivants. Établissement d'une première classification en 1826 par le paléontologue français Alcide d'Orbigny . En 1858, le biologiste britannique William Williamson complètera partiellement cette classification. En 1947, le chimiste Harold Clayton Urey développera la paléoclimatologie isotopique.
Classification	EUCARYOTES (noyau, ADN). Appartiennent au groupe des Rhizopodes c'est-à-dire organismes unicellulaires se déplaçant grâce à des extensions appelées pseudopodes. Les foraminifères sont définis selon la nature de leur test (agglutiné, porcelané ou hyalin), la morphologie de ce test (uniloculaire, uniloculaire tubulaire, sérié, spiralé, miliolin, discoïde ou forme combinée) et par l'agencement des loges . Plus récemment, l'analyse de leur ADN a permis de compléter cette classification.
Taille	Du micromètre au centimètre (certains Nummulites fossiles mesurent jusqu'à 14 cm)
Apparition	Il y a -544 Ma environ
Composition	Coquille minéralisée nommée test ; cellule avec cytoplasme comprenant noyau, mitochondries, appareil de Golgi et réticulum endoplasmique (inclusion de lipides, de pigments et parfois même d'algues unicellulaires); pseudopodes participant à la locomotion, la nutrition et la construction du test. Quelques foraminifères n'ont pas de coquille mais une enveloppe organique .
Fossilisation	Seule la coquille en carbonate de calcium (CaCO ₃) se fossilise.
Mode de vie	Benthique (sur les fonds) ou planctonique (dérivant au gré des courants) pour la plupart.
Milieu de vie	Milieus salés ou saumâtres, eaux glacées ou chaudes.
Durée de vie	Extrêmement brève : de quelques jours à quelques mois
Reproduction	Asexuée (division) et sexuée (gamètes qui vont se féconder) selon les espèces
Nombre d'espèces répertoriées	Environ 55 000 depuis l'apparition des foraminifères
Régime alimentaire	Bactéries, algues, larves de mollusques, crustacés et déchets divers.
Intérêts des foraminifères	Meilleurs marqueurs biostratigraphiques : leur répartition dans les strates sédimentaires permet de dater les couches géologiques. Meilleurs marqueurs paléoécologiques : les formes benthiques qui ont des préférences écologiques sont des bioindicateurs de pollution en milieu littoral ; les formes planctoniques étant des marqueurs de la dynamique des eaux océaniques et permettant l'étude des paléoclimats , nous renseignent sur les mécanismes actuels et futurs des climats .

Intérêt des foraminifères

> Pourquoi les foraminifères sont-ils de bons marqueurs biostratigraphiques et écologiques ?

- Ils sont omniprésents dans les milieux marins
- Ils se préservent bien (fossilisation des tests)
- Ils se reconnaissent facilement (classification)
- Ils occupent de très nombreuses niches écologiques (dispersion géographique large)
- Ils ont une durée de vie extrêmement brève (dispersion stratigraphique courte)
- Ils ont une grande vitesse d'évolution et réagissent à tous les changements de leur environnement :

en fonction des facteurs écologiques, leur population peut augmenter ou diminuer, leur test se transformer, leurs loges grandir ou se réduire. Un épisode de pollution (métaux lourds, hydrocarbures, matière organiques en très grande quantité...) peut conduire à la transformation radicale des populations ou à des malformations des espèces dominantes dans le milieu étudié.

<i>Globotruncana</i>		<p>Genre éteint de foraminifères planctoniques. Extinction il y a 66 Ma. Microscopique Marqueur de la crise crétacé-paléogène.</p> <p>Bons marqueurs biostratigraphiques</p>
<i>Elphidium excavatum</i>	 	<p>Foraminifères benthiques actuels. Microscopique ->Test normal Bons indicateurs de pollution</p> <p>->Test déformé à cause de la pollution</p>

> Comment procède-t-on pour prélever des foraminifères ?

1. Prélèvement d'échantillons sur le terrain :
 - . dans les sédiments profonds pour les foraminifères fossiles
 - . dans la colonne d'eau (foraminifères planctoniques)
 - . dans les sédiments de surface (foraminifères benthiques) pour les actuels.
2. Découpe des carottes de sédiments
3. Tamisage des échantillons
4. Tri sous loupe binoculaire : coloration au *rose bengal* des tissus organiques des foraminifères vivants.
5. Détermination et comptage

> Pourquoi les foraminifères fossiles sont-ils utiles à la compréhension des mécanismes climatiques ?

- L'indice isotopique $\delta^{18}\text{O}$

L'oxygène possède plusieurs isotopes stables dont ^{16}O plus abondant et plus léger, et ^{18}O plus rare et plus lourd. Le test en carbonate de calcium (CaCO_3) des foraminifères est élaboré à partir d'éléments chimiques présents dans l'eau de mer, en particulier l'oxygène. Le $\delta^{18}\text{O}$ peut être calculé dans l'eau (avec pour standard l'eau de mer actuelle), mais aussi dans le carbonate de calcium CaCO_3 (le standard est alors un squelette carbonaté). Les scientifiques ont remarqué que le $\delta^{18}\text{O}$ des carbonates du squelette des foraminifères reflète le $\delta^{18}\text{O}$ de l'eau dans laquelle ils se développent. Leur coquille contiendra donc plus ou moins d'isotope lourd ou léger en fonction des paramètres du milieu de vie :

En période glaciaire, l'eau des océans est riche en isotope ^{18}O : le test des foraminifères des sédiments océaniques sera donc également abondant en isotope lourd.

En période interglaciaire (fonte des glaces polaires riches en isotope ^{16}O qui se retrouve alors dans l'eau liquide), l'eau des océans sera enrichie en isotope léger ainsi que le squelette des foraminifères vivant dans ces conditions.

C'est l'étude par **spectromètre de masse à source gazeuse** des tests de foraminifères qui permet de mesurer la composition isotopique de l'oxygène. Leur coquille en carbonate de calcium est transformée en dioxyde de carbone sur lequel l'analyse isotopique est réalisée.

-> **Par ces mesures, les foraminifères nous renseignent sur les climats passés et permettent l'étude de cycles glaciaires et interglaciaires. La géochimie isotopique a donc un rôle majeur dans la compréhension des mécanismes climatiques.**

- L'étude des carottes de sédiments

L'analyse de la répartition géographique passée de certaines espèces de foraminifères planctoniques encore vivants aujourd'hui en milieu marin permet au scientifique de reconstituer le déplacement des zones climatiques.



Elle repose sur l'**analyse de l'abondance et de la diversité** plus ou moins importantes de foraminifères dans le sédiment :

Aux latitudes tropicales, le sédiment est très riche en microfossiles (biodiversité importante) et la fraction détritique est négligeable voir absente. Plus l'eau est/était chaude (période interglaciaire), plus on retrouve de débris carbonatés et plus le sédiment est clair.

Aux latitudes polaires, c'est la fraction détritique qui est la plus abondante. Les fossiles sont rares, de petites tailles et peu diversifiés. Plus l'eau est/était froide (période glaciaire), plus le sédiment est foncé.

Elle se base également sur la **présence ou l'absence de certaines espèces** (préférence écologique) ainsi que sur l'étude du sens d'enroulement de la coquille des foraminifères :

Groupe bioclimatique	Espèces présentes/marqueurs*
eau de surface froide	<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> , enroulement sénestre (vers la gauche)
eau de surface tempérée	<i>Neogloboquadrina pachyderma</i> , enroulement dextre (vers la droite) <i>Globigerina bulloides</i>
eau de surface chaude	<i>Globigerinoides ruber</i>

> À quoi servent les foraminifères actuels ?

Les foraminifères sont des bioindicateurs car ils absorbent les polluants. Leur assemblage est spécifique de chaque type d'environnement car ils s'adaptent aux variables du milieu (salinité, profondeur, teneur en dioxygène, type de substrat...). Si une des variables est modifiée pour cause de pollution, cela aura une répercussion sur leur fréquence et leur diversité.

Une forte pollution organique favorise leurs conditions de vie (grand apport en matière organique). La réponse est donc positive avec une taille plus élevée des foraminifères et une diversité importante.

Mais si la pollution devient extrême, le milieu de vie s'appauvrit en dioxygène. La réponse est alors négative avec une baisse de la diversité, des tailles plus petites et des associations différentes. Les spécimens opportunistes se font également plus nombreux.

Une pollution aux métaux lourds perturbe beaucoup les foraminifères avec modifications des espèces, des tailles et apparition d'anomalies.

Milieus étudiés dans l'exposition :

- Les milieux côtiers
- Les estuaires dans les zones climatiques tempérées
- Les lagons tropicaux
- Les milieux marins profonds

-> **Étudier la pollution anthropique permet de préserver l'environnement et de prendre conscience des impacts que l'Homme peut causer sur les écosystèmes (enjeux économiques et enjeux sur la biodiversité).**

> Étudier les phénomènes passés et actuels pour mieux connaître les climats de demain et mieux évaluer l'action de l'Homme sur son milieu

Les foraminifères sont étudiés dans le but de mieux connaître la dynamique et le fonctionnement des océans. L'analyse des échantillons prélevés doit se faire à partir de la connaissance des paramètres du milieu de vie : salinité, température, sédimentologie et pollution. Pour savoir comment l'océan répond aux stress climatiques, les scientifiques travaillent sur les quatre éléments suivants :

- L'écologie des foraminifères : établissement de fourchettes de valeurs (quantité et paramètres physico-chimiques) en fonction de la température, de la salinité et des nutriments disponibles
- La mesure du flux des foraminifères (relation entre quantité et paramètres du milieu)
- L'étude de leurs assemblages
- L'application du principe de l'actualisme pour l'analyse.

L'étude de ces êtres vivants microscopiques nous permet de comprendre que les mécanismes climatiques naturels impliquent l'atmosphère et la cryosphère (cycle de l'eau et marqueurs isotopiques), la lithosphère (crises de la biodiversité...) ainsi que la biosphère qui réagit différemment (variété, association, enroulement, taille... des foraminifères) en fonction des paramètres physico-chimiques du milieu. Il est nécessaire d'appréhender les modèles climatiques et leur rapport avec l'océan régulateur de l'effet de serre car la pollution anthropique entre en jeu dans ce dérèglement et nous projette plus rapidement vers l'inconnu. Un des buts de la recherche scientifique est de comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain.

-> **La connaissance de l'écologie des différentes espèces de foraminifères actuels permet aussi de se rendre compte de l'état de santé de nos milieux marins. Ces informations sont nécessaires à la protection, la sauvegarde ou la réhabilitation de milieux pollués par les activités humaines.**

Point métiers

Emmanuelle Geslin, enseignante chercheuse à l'université d'Angers

> Quelles sont vos différentes missions au sein du LPG-BIAF d'Angers ?

En tant que directrice du laboratoire, je gère une équipe de 30 personnes comprenant des enseignants chercheurs, des techniciens, des gestionnaires, des doctorants et post-doctorants. Mon rôle est de coordonner les actions pour que les recherches se déroulent le mieux possible. En tant qu'enseignant chercheur, je donne des cours et des travaux pratiques aux étudiants de Licence et de Master. J'interviens principalement en paléontologie et micropaléontologie. Je fais de la recherche en parallèle en océanographie. Je travaille sur les foraminifères actuels afin de mieux comprendre leurs habitats et leur mode de vie.

> Quelle est la part de terrain, la part d'analyse en laboratoire et celle de publication dans votre métier ?

Dans la partie recherche de mon travail, la partie terrain est importante. J'ai l'occasion de faire des prélèvements dans des environnements locaux comme la Baie de Bourgneuf (1 fois / mois), mais aussi dans des lieux plus éloignés (Svalbard, Arctique) et exotiques (Brésil). Le travail de laboratoire, notamment la préparation des échantillons, est surtout assurée par les techniciens du laboratoire.

> Pouvez-vous nous donner un exemple d'écosystème en France ou en outre-mer que vous avez plus particulièrement étudié et dans quels cadres ?

En France, je travaille plus particulièrement sur la Baie de Bourgneuf où j'ai mis en place avec mes collègues un suivi mensuel des foraminifères vivants afin de comprendre leur dynamique de population. Cela fait 4 ans que nous allons tous les mois prélever des échantillons. Je travaille aussi sur le Bassin d'Arcachon depuis plusieurs années.

> Quel message, en lien avec vos recherches, aimeriez-vous faire passer à des collégiens ou lycéens ?

Le message le plus important est en lien avec la démarche scientifique qui doit être rigoureuse et critique. L'esprit critique reste un élément très important en science mais aussi dans la vie quotidienne. En tant qu'enseignante, c'est ce que j'essaie d'apporter à mes étudiants à travers mes cours disciplinaires.

A travers cette exposition, j'espère aussi stimuler la curiosité des lycéens et des collégiens... Montrer que le monde des foraminifères reste inconnu du grand public alors qu'ils sont beaucoup utilisés en science et qu'ils sont aussi merveilleusement beaux et complexes malgré leur petite taille ! J'espère stimuler de l'émerveillement !

Benoît Mellier, commissaire de l'exposition, responsable des collections de zoologie, sciences de la Terre et Préhistoire au Muséum des sciences naturelles d'Angers.

> Quel est le rôle d'un commissaire d'exposition ?

Il propose le thème de l'exposition et en rédige les contenus, si besoin avec l'aide de spécialistes. Dans le cas d'une exposition dans un musée, le commissaire choisit les œuvres/spécimens à exposer (souvent il est également en charge de la conservation des collections), ou à emprunter et le cas échéant à restaurer. Il a aussi un rôle de coordination avec tous les intervenants internes ou externes (scénographe, graphiste, imprimeur, autres musées...).

> Comment est venue l'idée de monter cette exposition en lien avec le laboratoire de l'université d'Angers ?

Le muséum présente au public la diversité du monde vivant, actuel et passé. Donc, faire une exposition sur un groupe zoologique particulier est pertinent. Comme un laboratoire angevin est spécialiste d'un tel groupe méconnu du grand public, c'est une belle occasion pour un partenariat avec le monde de la recherche. C'est aussi une histoire de personnes et une volonté commune, depuis longtemps.

> Avez-vous des liens avec d'autres partenaires dans le cadre de vos missions au Muséum ?

Oui, avec d'autres musées, laboratoire de recherche, acteurs du monde naturaliste, d'autres institutions publiques comme l'Office français de la biodiversité (OFB), les douanes, ou la Direction régionale des affaires culturelles (DRAC); mais aussi des institutions privées (parcs zoologiques...).

> Quel message, en lien avec l'exposition, aimeriez-vous passer aux collégiens et aux lycées ?

Les quatre messages suivants :

- Comprendre que la biodiversité ne se résume pas aux oiseaux, mammifères et plantes
- La plupart des espèces terrestres nous sont encore inconnues
- Que les visiteurs comprennent ce que sont les foraminifères
- À quoi sert la recherche et, au-delà, la science

Pistes pédagogiques

COLLÈGE (cycle 4)

SVT : Thème 1 : La planète Terre, l'environnement et l'action humaine

Liens avec les programmes

> La Planète Terre, l'environnement et l'action humaine

Les attendus de fin de cycle 4 :

- Identifier les principaux impacts de l'action humaine, bénéfiques et risques, à la surface de la planète Terre.
- Envisager ou justifier des comportements responsables face à l'environnement et à la préservation des ressources limitées de la planète.

> Le vivant et son évolution

Les attendus de fin de cycle 4 :

- Établir des relations de causalité entre différents faits pour expliquer : la dynamique des populations et la biodiversité.

L'exposition permet à l'élève :

- D'avoir des connaissances sur l'histoire des sciences (découvertes scientifiques, loupe binoculaire)
- D'appréhender le monde microscopique
- De comprendre l'importance de la fossilisation en sciences
- D'approcher la notion de fossiles « marqueurs » et leur identification (planches pour la classification)
- De comprendre la notion d'écosystème : liens entre les paramètres du milieu de vie (salinité, température, pollution...) et les êtres vivants.
- De faire des liens entre biodiversité et climats
- De se rendre compte que la pollution anthropique a un impact sur les milieux de vie.

Mots-clés

Explorations scientifiques, fossilisation, classification, espèces, écosystèmes, paramètres du milieu de vie, pollution humaine, préservation.

Questions d'enseignements

- Comment les scientifiques procèdent-ils pour prélever des foraminifères ? (approche de la démarche scientifique : prélèvement et planche pour les reconnaître et les nommer)
- Comment ont été découverts les foraminifères (histoire des sciences : l'infiniment petit et le microscope) et quels intérêts scientifiques leur avons-nous trouvés ? (intérêt des fossiles)
- Qu'est-ce que la fossilisation ?
- Les climats ont-ils évolué au cours des temps géologiques ?
- Qu'est-ce que la pollution anthropique ? Quelles actions peut-on mener pour la diminuer ?

EPI Cycle 4 : Transition écologique et développement durable, sciences, technologies et société

Liens avec les programmes

> Océans et climats/ écologie

Physique-chimie : chimie et environnement / Décrire l'organisation de la matière : lien atmosphère-hydrosphère.

Géographie : 5^{ème} / Thème 3 : Prévenir les risques, s'adapter au changement global : changement climatique, risques, sensibilisation au fait que les mers et les océans sont des régulateurs climatiques.

Arts-Plastiques : Représentation de la nature et aux rapports entre arts et problématiques de l'environnement.

Piste Art et écologie

Pour sensibiliser le public aux enjeux environnementaux, de nombreux artistes contemporains créent des œuvres qui interpellent sur le climat. On peut citer Olafur Eliasson et son projet *Weather*, Banksy et son œuvre *I don't believe in global warming* ou encore la sculpture monumentale, intitulée **Support**, de Lorenzo Quinn installée lors de la Biennale de Venise en 2017 et qui souligne les risques qu'encourt la ville italienne à cause du réchauffement climatique. L'étude des foraminifères permet aux scientifiques de suivre et de comprendre l'évolution climatique et d'alerter l'opinion public sur le réchauffement climatique.

Questions d'enseignements

- Comment l'art et les artistes s'engagent contre le réchauffement climatique ?
- Existe-t-il un art écologique ?

Pour éduquer les élèves aux questions écologiques et au développement durable, on peut élaborer un projet interdisciplinaire associant les sciences, l'histoire et géographie, les arts plastiques et éventuellement d'autres disciplines. Ce projet peut faire l'objet d'un EPI (enseignement pratique interdisciplinaire), correspondant à la thématique : **transition écologique et développement durable** et plus précisément au **thème 8 : Arts, énergie, climatologie et développement durable**.

On peut également s'appuyer sur le programme complémentaire de français de 5^{ème} qui aborde les questions : l'être humain est-il maître de la nature ? Quelles sont les responsabilités humaines aujourd'hui vis-à-vis de la nature ?

Chaque discipline va s'emparer de ces questions pour faire comprendre les enjeux et sensibiliser les élèves à l'écologie. Ce travail peut ensuite servir de support pour réaliser une exposition au sein de votre établissement.

Références artistiques

James Graham BALLARD (1930-2009), *La forêt de cristal*, 1966, Paris, Denoël.

Robert SMITHSON (1938-1973), *La Spiral Jetty*, 1970, Great Salt Lake, États-Unis.

Antony GORMLEY (1950), *Exposur*, 2010, Lelystad, Pays-Bas.

Noël DOLLA, *Nymphéas Post Déluge II*, 2019, Jardin des Tuileries, Paris.

Après visite, l'exposition doit amener à débattre sur les preuves d'un changement climatique, sur la notion de biodiversité et de sa préservation, sur la gestion des risques climatiques, ainsi que sur la notion de prévision. Des productions d'élèves peuvent être réalisées en arts plastiques et affichées au collège. Un cartel double peut-être réalisé pour chacune des productions et signifiant un point de vue scientifique de l'œuvre et un point de vue artistique.

Référence artistique possible : L'artiste Nicolas Floc'h : artiste engagé qui travaille autour de constats sociétaux, environnementaux et économiques. Ses projets sont nourris de voyages, de rencontres et de la recherche scientifique. Il a notamment travaillé sur le milieu marin et le monde sous-marin pour nous en donner sa vision à travers des productions et des photographies.

Piste Imagerie scientifique et imagerie artistique

Il y a une multitude de rapprochements possibles entre les arts et les sciences. Il existe d'innombrables exemples de relation entre ces deux domaines. Les artistes de la Renaissance étudiaient l'anatomie et les lois de la perspective, Léonard de Vinci était à la fois artiste et ingénieur. Arcimboldo était expert en botanique. L'impressionnisme et plus tard l'art cinétique se sont appuyés sur l'étude scientifique de la perception visuelle... L'imagerie scientifique a toujours fasciné les artistes et parfois des travaux scientifiques sont devenus ou ont été à l'origine de certaines œuvres d'art. Les foraminifères et la diversité de leurs formes peuvent d'ailleurs exercer une attirance et une séduction esthétique. On peut imaginer différents projets avec les élèves à partir de questions d'enseignement simples et abordables.

Questions d'enseignements

- Un objet scientifique peut-il devenir artistique ?
- Comment les artistes s'emparent des sciences pour créer de l'art ?
- Comment l'imagerie scientifique inspire les artistes ?

On peut élaborer un projet d'éducation artistique et culturel autour de cette exposition, en associant les sciences, le français et les arts plastiques. Il est possible de s'appuyer sur le programme de français du cycle 4 et la thématique générale : **Regarder le monde, inventer des mondes, pour produire ou étudier des textes scientifiques ou poétiques à partir de l'observation de la nature.** En sciences et en arts plastiques on peut étudier les différences d'intention entre expression artistique et communication scientifique en produisant par exemple des dessins scientifiques et des dessins artistiques, en prenant comme point de départ l'observation des foraminifères.

Références artistiques

Etienne Léopold TROUVELOT (1827-1895), *Grande Nébuleuse d'Orion*, vers 1874, Paris, Observatoire.

Ernst HAECKEL (1834-1919), *Les formes artistiques de la nature*, 1904.

Ruslan KHASANOV (1987), *Over your skin*, vidéo macro, 2017.

LYCÉE

Seconde générale et technologique : Thème 1 : La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Liens avec les programmes

- > **La biodiversité change au cours du temps : Étudier l'évolution de la biodiversité durant la crise Crétacé-Paléocène avec le groupe des foraminifères marins.**
- > **Mobiliser les acquis du collège sur l'arbre du vivant en positionnant des organismes actuels ou fossiles rencontrés lors d'une sortie (Muséum)**

L'exposition permet à l'élève :

- De prendre conscience des enjeux sociétaux du climat
- D'étudier la démarche scientifique et le vocabulaire associé / de découvrir comment faire l'inventaire de la biodiversité lors d'une expédition scientifique
- De découvrir les notions de fossiles stratigraphiques et bioindicateurs.
- D'appréhender la notion d'écosystème face à la pollution

SVT Terminale : Enjeux planétaires contemporains

Liens avec les programmes

- > **Les climats de la Terre : Comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain**

Cette partie est en lien avec le programme d'enseignement de spécialité de physique-chimie en classe de terminale : réactions chimiques, isotopes

L'exposition permet à l'élève :

- De comprendre la démarche des scientifiques et de visualiser les outils nécessaires pour appréhender les enjeux climatiques d'hier, d'aujourd'hui et de demain.
- De voir le lien entre climats passés et climats futurs
- De comprendre et utiliser le concept de thermomètre isotopique $\delta^{18}O$ dans les carbonates des sédiments océaniques pour reconstituer des variations de températures.

Mots-clés

Fossiles bioindicateurs et stratigraphiques, thermomètre isotopique, enjeux climatiques, démarche scientifique, enjeux sociétaux, pollution anthropique, inventaire de la biodiversité.

Questions d'enseignements

- Comment se déroule une campagne d'étude de la biodiversité sur le terrain ? (notion de biodiversité et d'échantillonnages)
- Qu'est-ce qu'un fossile biostratigraphique ? un fossile bioindicateur ?
- Comment les foraminifères enregistrent-ils les paléoclimats ? (reconstitution d'aires climatiques puis d'un climat global)
- Quels sont les paramètres pris en compte dans un modèle climatique ?
- Quels sont les causes des changements des climats passés et actuels ?
- Comment expliquer les variations des populations de foraminifères dans un milieu : interrogations autour des paramètres du milieu et de la pollution anthropique (impacts et remédiations).

Pistes pour des projets EAC

> En lien avec le programme d'histoire-géographie de 2nde, **thème 1 - Société et environnement : des équilibres fragiles** - Étude d'un cas sur le territoire (estuaire, lagon, milieu côtier...) : gestion des risques, identification des acteurs sur un territoire.

> En lien avec le programme de l'enseignement de spécialité de Terminale HGGSP, **thème 5 : l'environnement, entre exploitation et protection**

Monter un projet de sciences participatives autour des foraminifères avec étude et prélèvements sur le terrain. Recherches des impacts locaux (activités humaines) et globaux (changements climatiques)

Les objectifs peuvent être multiples :

- Mettre en relation des élèves du lycée avec le monde de la recherche universitaire
- Ancrer les enseignements dans des thématiques de recherches actuelles et innovantes
- Accéder à des outils d'analyse
- Avoir des données sur la gestion du territoire
- Travailler sur l'orientation.

> En lien avec les programmes d'Arts-Plastiques (options au lycée) et les objectifs de développement durable (ODD) :

- Pour l'option en seconde, on peut s'appuyer sur ces domaines d'investigation :

La matière, les matériaux et la matérialité de l'œuvre : Donner forme à la matière ou à l'espace, transformer la matière, l'espace et des objets existants

Idée de séquence : détournement de l'objet manufacturé pour un projet poétique porté par une valeur symbolique. Par exemple, l'emballage sert de projet de sculpture ou de dessin.

- Pour l'option en Première et Terminale :

Liens entre **arts plastiques et architecture, paysage, design d'espace et d'objet**

Idée de séquence : intégrer une œuvre ou un objet à un environnement

Se projeter dans le paysage de demain (réaliser une œuvre éphémère où le matériau est recyclable). S'interroger sur un objet qui serait capable de respecter le climat et en même temps d'avoir une utilité pour la vie quotidienne. Penser à son exposition, son intégration dans l'environnement.

- Arts Plastiques spécialité, cycle terminale :

Idée de séquence : L'art, les sciences et les technologies : dialogue ou hybridation

Imaginer des projets scientifiques pour questionner notre rapport au vivant, à l'écologie. Se questionner sur la collaboration entre artistes et scientifiques autour de l'écologie.

Ces sujets peuvent-être abordés avec une classe ou lors d'un projet monté avec les éco-délégués de l'établissement.