

ANNÉE 2024 - 2025
DES GÉOSCIENCES

RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

aefe
Agence pour
l'enseignement français
à l'étranger

MARCHE DES TEMPS GÉOLOGIQUES DOSSIER PÉDAGOGIQUE

Document réalisé par un groupe d'enseignants formateurs de
Sciences de la vie et de la Terre de l'AEFE d'après une base de

Savanturiers
École de la recherche



Ceebios

Coordonné par Nicolas Louisot, enseignant formateur de SVT à l'AEFE
Piloté par Sabine Bobée, IA IPR de SVT à l'AEFE

L'utilisation de cet outil est régie par une licence CC BY-NC-SA



Version 1.0

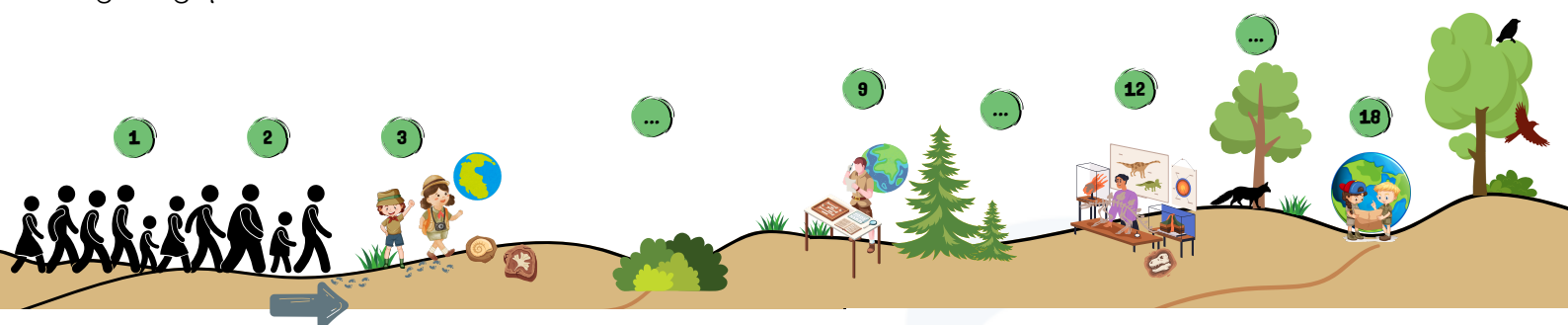


Introduction

La Marche des temps géologiques s'inscrit dans le cadre de l'année des géosciences 2024-25. Cette initiative propose de raconter les **4,6 milliards d'années de l'histoire de la Terre** à travers une **marche de 4,6 km** où chaque mètre parcouru représente un million d'années.



Le parcours sera jalonné par autant d'étapes que d'**événements marquant l'histoire de la Terre**. Cette marche **préparée, réalisée et animée par les élèves** pouvant aller du cycle 3 à la terminale, offre l'opportunité d'observer, d'imaginer, de ressentir et de (re)découvrir des indices géologiques, véritables **témoins de l'histoire de la planète**, tout en mettant en lumière les trésors du patrimoine géologique local.



La "Marche des temps géologiques" est pensée pour être potentiellement parcourue par **toute la communauté éducative**, rendant l'expérience encore plus enrichissante et collaborative. Une aventure éducative qui saura captiver et inspirer tous les participants !

La marche des temps géologiques peut être un projet à l'échelle d'**une ou plusieurs classes** selon le contexte de l'établissement. Elle permet l'**interdisciplinarité** et/ou l'**inter-degrés**.

L'**inscription**, la **valorisation** via un diaporama et l'accès aux **ressources complémentaires** du projet ce font via le support disponible ici <https://view.genially.com/6635430f7b6f810014a5259d> ou via le QR code ci-dessous.

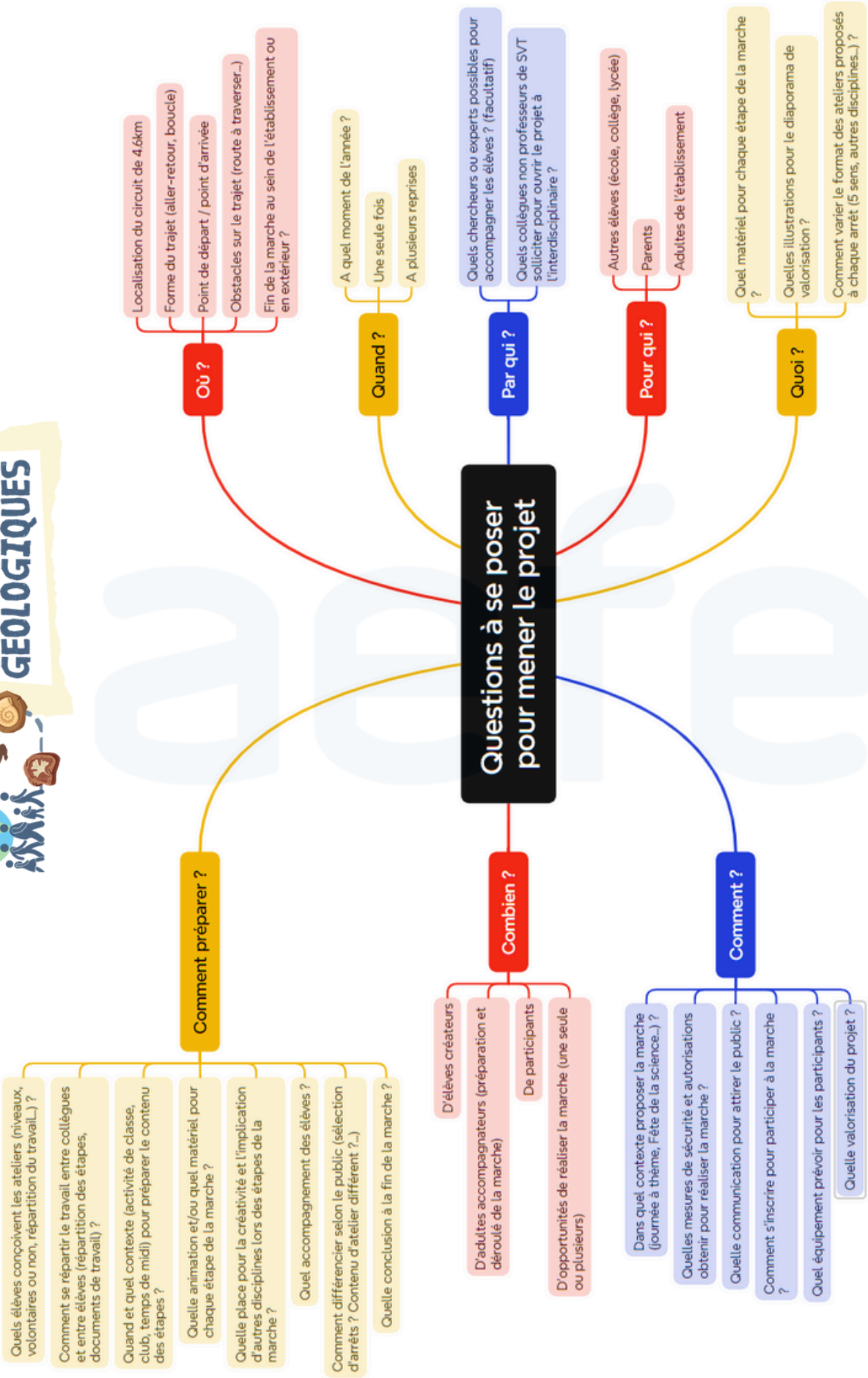


Pour les questions ou remarques concernant ce dossier, merci de contacter nicolas.louisot@aefe.fr.

La préparation de la marche



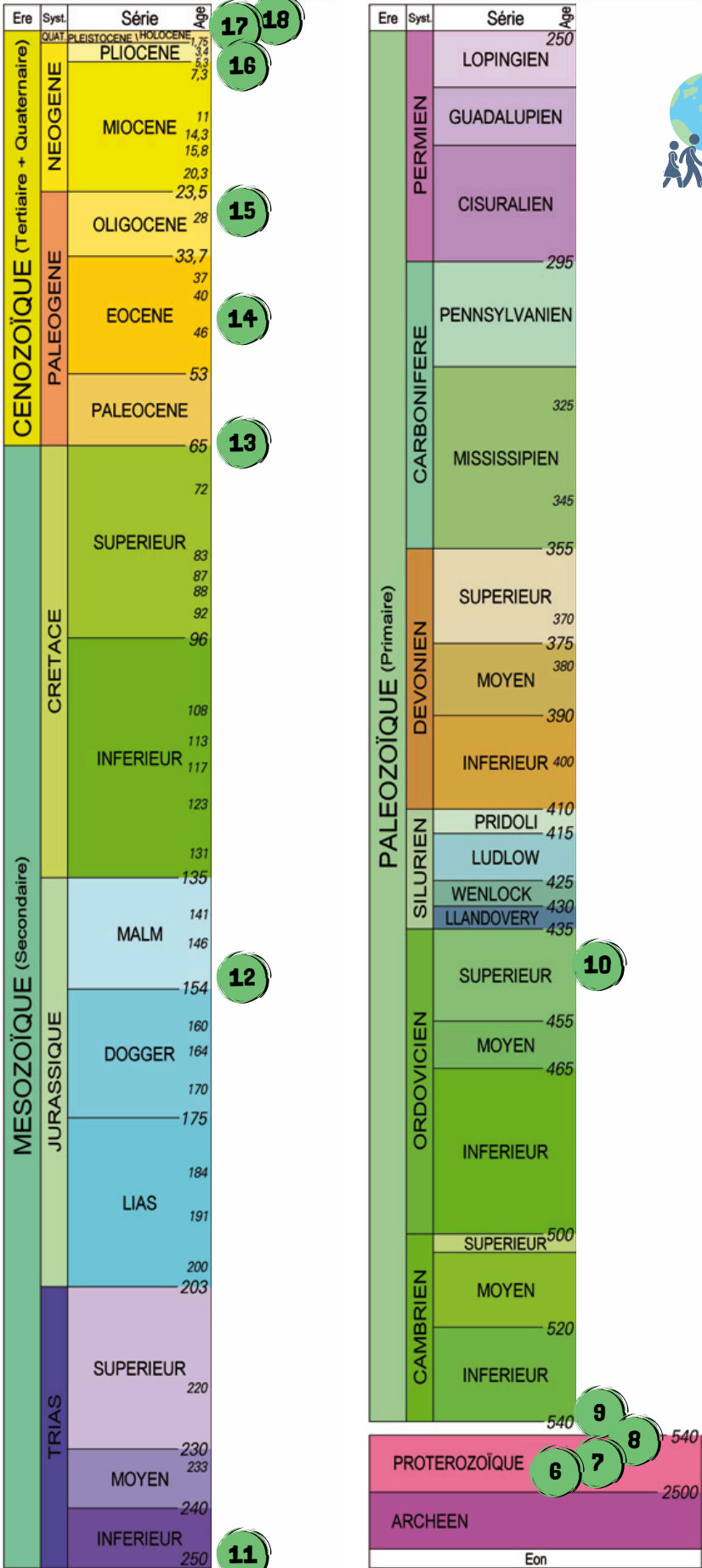
MARCHE DES TEMPS GÉOLOGIQUES



Vue d'ensemble de la marche



X : Etape de la marche



BRGM Mars 2003 - Noms des unités d'après la charte stratigraphique internationale (IUGS, 2000).
Âges numériques (Ma) d'après G.S. Odin, IUGS, 2000. Couleurs des unités d'après le programme de la carte géologique de la France à 1/50 000.

D'après

Les étapes de la marche

#	Nom de l'étape	Datation	Distance parcourue entre deux étapes (en m)	Distance cumulée parcourue (en m)
0	Formation de l'Univers	-13,8 Ga	0	0
1	Origine de la Terre	- 4,56 Ga	0	0
2	Mise en place des océans	- 4,3 Ga	250	250
3	Mise en place des premières roches continentales	- 4 Ga	300	550
4	Premières traces de vie	-3,8 Ga	200	750
5	Dioxygène dans l'atmosphère	-2,5 Ga	1300	2050
6	Ozone et premiers eucaryotes	-1,5 Ga	1000	3050
7	Terre boule de neige	-850 Ma	650	3700
8	Faune de l'Ediacarien	-630 Ma	220	3920
9	Explosion cambrienne	-540 Ma	90	4010
10	Pangée et développement de la vie sur les continents	-440 Ma	100	4110
11	Crise Permien-Trias	-250 Ma	190	4300
12	Tectonique au temps des dinosaures	-150 Ma	100	4400
13	Crise Crétacé-Paléocène	-65 Ma	85	4485
14	Orogenèse alpine et évolution du vivant	-45 Ma	20	4505
15	Changements géologiques et premiers Hominoides	-25 Ma	20	4525
16	Lignée humaine buissonnante	-7 Ma à actuel	18	4543
17	Aujourd'hui	En 2024-2025	7	4550
18	Dans le futur + les métiers du futur	Au choix	-	-



La marche et les programmes officiels

CYCLE 3 – SCIENCES



SVT : Sciences de la vie et de la Terre
ES : Enseignement scientifique

LÉGENDE

- X Étape liée au programme
- X Étape liée au programme d'autres disciplines
- X Étape non directement liée au programme

Matière, mouvement, énergie, information

États et constitution de la matière à l'échelle macroscopique

- Propriétés de la matière : états physiques de l'eau
- Mélanges : composition de l'air, gaz à effet de serre

Le vivant, sa diversité et les fonctions qui le caractérisent

Panorama du monde vivant

- Organisation des êtres vivants : décrire un être vivant, notion de cellule
- Classification du vivant : intégrer les êtres vivants disparus
- Biodiversité actuelle et passée : identification d'espèces actuelles et passées, positionnement sur l'échelles de temps géologiques, paléoenvironnement, crises biologiques

Les objets techniques au cœur de la société

Les objets techniques en réponse aux besoins des individus et de la société

La Terre, une planète peuplée par des êtres vivants

La Terre, une planète singulière et active

- La Terre, une planète active qui abrite la vie : Système solaire, conditions de vie sur Terre, activités internes et externes, réchauffement climatique

Écosystème : structure, fonctionnement et dynamique



CYCLE 4 – SVT

La planète Terre, l'environnement et l'action humaine

Expliquer quelques phénomènes géologiques à partir du contexte géodynamique global

- Globe terrestre : dynamique interne et tectonique des plaques lithosphériques, séismes, éruptions volcaniques
- Ères géologiques

Expliquer quelques phénomènes météorologiques et climatiques.

- Changements climatiques passés (temps géologiques) et actuels (influence des activités humaines sur le climat notamment par l'émission de gaz à effet de serre) ; leurs conséquences sur la répartition des êtres vivants

Le vivant et son évolution

Plantes chlorophylliennes et photosynthèse

Relier l'étude des relations de parenté entre les êtres vivants, et l'évolution

- Caractères partagés et classification
- Les grands groupes d'êtres vivants, dont *Homo sapiens*, leur parenté et leur évolution

Mettre en évidence des faits d'évolution des espèces et donner des arguments en faveur de quelques mécanismes de l'évolution

- Apparition et disparition d'espèces au cours du temps (traces fossiles des premiers organismes vivants sur Terre)
- Maintien des formes aptes à se reproduire, hasard, sélection naturelle



SECONDE

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

L'organisation fonctionnelle du vivant

- L'organisme pluricellulaire, un ensemble de cellules spécialisées
- Métabolisme des cellules (dont photosynthèse)

Biodiversité, résultat et étape de l'évolution

- Les échelles de la biodiversité
- La biodiversité change au cours du temps (espèce, crise biologique, extinction massive et diversification, temps géologiques).

Les enjeux contemporains de la planète

Géosciences et dynamique des paysages

- Erosion, sédimentation, roches sédimentaires
- Paléoenvironnement, principe d'actualisme



1ÈRE ES

Une longue histoire de la matière

Un niveau d'organisation : les éléments chimiques

- Matière de l'Univers, réactions nucléaires stellaires
- Désintégration radioactive, isotopes et datation absolue

Des édifices ordonnés : les cristaux

- Organisation spatiale : atome ou molécule, maille, cristal, minéral, roche
- Relation entre la structure amorphe ou cristalline d'une roche et les conditions de son refroidissement

Une structure complexe : la cellule vivante

- La cellule, unité fondamentale du vivant, en interaction permanente avec son environnement

Le Soleil, notre source d'énergie

Le rayonnement solaire

- Puissance reçue sur Terre, lien avec le climat

Le bilan radiatif terrestre

- Albédo, effet de serre, température moyenne

La photosynthèse

Une diversité de sources d'énergie utilisables par l'Humanité

La Terre, un astre singulier

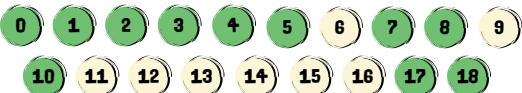
La forme de la Terre

L'histoire de l'âge de la Terre

- Temps de refroidissement, empilements sédimentaires, évolution biologique, radioactivité

La Terre dans l'Univers

- Du géocentrisme à l'héliocentrisme, eau liquide sur Terre



1ÈRE SVT

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Transmission, variation et expression du patrimoine génétique

- L'histoire humaine lue dans son génome

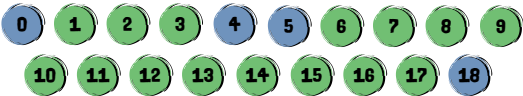
La dynamique interne de la Terre

- La structure du globe terrestre : couches (noyau, manteau, croûtes continentale et océanique), nature et densité des roches
- La dynamique de la lithosphère : divergence, convergence (subduction, collision), mobilité des plaques lithosphériques, volcanisme associé, hydrothermalisme

Les enjeux contemporains de la planète

Les écosystèmes : des interactions dynamiques entre les êtres vivants et entre eux et leur milieu

- Flux de matière, équilibre et perturbation, dynamique spatio-temporelle, biodiversité, service écosystémique



TERM. ES

Science, climat et société

L'atmosphère terrestre et la vie

- Atmosphère primitive, refroidissement de la Terre et eau liquide, développement de la vie, photosynthèse et oxygénation, ozone

La complexité du système climatique

- Indicateurs du climat, réchauffement climatique global, gaz à effet de serre, rétroactions positives et négatives, rôle de l'océan

Le climat du futur

Une histoire du vivant

La biodiversité et son évolution

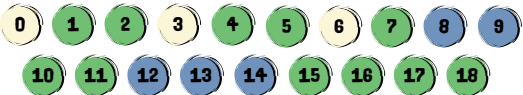
- Techniques d'études, modèles, évolution et gestion d'écosystème

L'évolution comme grille de lecture du monde

- Anatomie comme résultat d'une longue histoire évolutive, sélection naturelle, hasard, variation

L'évolution humaine

- Paléanthropologie, parenté entre primates, lignée humaine buissonnante



SYNTHÈSE

Adapter les attentes et contenus
d'une étape selon le niveau des élèves
la présentant

TERM. SVT

La Terre, la vie et l'organisation du vivant

Génétique et évolution

- La complexification des génomes : transferts horizontaux et endosymbioses
- L'inéluctable évolution des génomes au sein des populations.
- Autres mécanismes contribuant à la diversité du vivant (évolution culturelle)

À la recherche du passé géologique de notre planète

- Le temps et les roches : datation relative (successions d'associations fossiles, fossile stratigraphiques), échelle stratigraphique, chronologie absolue
- Les traces du passé mouvementé de la Terre : traces de cycles orogéniques, d'océans disparus, fragmentation continentale, paléogéographie

Les enjeux contemporains de la planète

De la plante sauvage à la plante domestiquée

- La plante : organisation fonctionnelle, photosynthèse, domestication

Les climats de la Terre : comprendre le passé pour agir aujourd'hui et demain

- Reconstituer et comprendre les variations climatiques passées : effet de serre, gaz à effet de serre, cycle du carbone, cycles de Milankovitch, albédo, principe d'actualisme, rapports isotopiques (delta 18O), tectonique des plaques, circulation océanique, périodes glaciaires et interglaciaires
- Comprendre les conséquences du réchauffement climatique et les possibilités d'actions



AUTRES DISCIPLINES

Physique-Chimie

- Evolution de l'Univers, formation du système solaire, âges géologiques.
- Transformations chimiques, la matière et les changements d'états.
- Energie, effet de serre, albédo...

Histoire-Géographie

- Histoire de l'humanité, migrations.
- Evolution du climat et enjeux associés (nourrir, habiter...).
- Développement durable, ville de demain.

Français

- Mythes anciens liés aux géosciences.
- Récits de voyage, d'aventure, imaginaire, d'anticipation.
- Théâtre, poésie.

Technologie

- Solutions techniques pour le futur.
- Objets techniques en géosciences.

Philosophie

- La nature, la science, le temps, la technique, la vérité,...

Arts plastiques et éd. musicale

- Productions artistiques pour s'immerger ou reconstituer

Langues vivantes

- Contextes culturels des pays contenant des traces de l'histoire de la Terre.

EPS

- Aspect physique de la marche, appréhender les 4.6km, faire une course de 4.6km, élaboration et repérage du parcours.
- Performance ou élaboration d'une chorégraphie pour une ou plusieurs étapes(s).

Mathématiques

- Représentations graphiques dont l'histogramme, calcul (effectifs et fréquences), interprétation des indicateurs de position.
- Puissances de 10, lien avec les préfixes de nano à giga et la notation scientifique.
- Echelle et proportionnalité (distances à parcourir lors de la marche VS dates)...

Niveaux / Etapes	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cycle 3	✓	✓	✓		✓		✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Cycle 4	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Seconde	✓	✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
1ère ES	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓		✓							✓	✓
1ère SVT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Term. ES		✓	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Term SVT				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Une fiche pour chaque étape

Distance parcourue depuis l'étape précédente

Etape concernée par la fiche

Distance à parcourir pour atteindre l'étape suivante

Numéro de l'étape précédente

Numéro de l'étape suivante

7 — 220 m — 8 — 90 m — 9

Titre de l'étape

Date et nom de la période géologique

Objectifs possibles à atteindre grâce à cette étape

FAUNE DE L'EDIIACARIEN

-630 millions années	Précambrien - Protérozoïque	21:19
----------------------	-----------------------------	-------

- Comprendre la notion de cellule spécialisée et de tissu.
- Appréhender le lien entre la géologie et le développement de la biodiversité.
- Étudier les indices des orogénèses passées sur des cartes géologiques.

Interprétation de la vie à l'Ediacarien.

Ryan Somma, CC BY-SA 2.0

Les premiers métazoaires.
La faune de l'Ediacarien est datée de -600 Ma, elle regroupe un ensemble de métazoaires conservés sous forme de traces (animaux pluricellulaires avec des cellules spécialisées dans différentes fonctions).

Cette faune surtout retrouvée à Ediacara en Australie, correspond à des animaux à corps mous, sans squelette minéralisé ressemblant à des méduses, des coraux, des vers. D'autres animaux (les vendébiotes) ne ressemblent à aucun autre animal connu.

Le rôle des granites.
L'érosion des granites formés lors de la mise des supercontinents précédents (Colombia, Rodinia) a permis de libérer dans les océans une grande quantité de métaux lourds (zinc, cuivre, molybdène). Or, il semblerait que la vie multicellulaire n'ait été possible que grâce à certaines protéines utilisant les métaux lourds.

Tectonique à -600 Ma : Pannotia.
La faune d'Ediacara est retrouvée sur cinq continents. Ce constat est en faveur de l'existence du supercontinent Pannotia de -600 Ma à -540 Ma. Les orogénèses panafricaines et cadomienne sont des orogénèses à l'origine de ce supercontinent.

Représentation de la Pannotia de -600 à -540 Ma.

Aymath2

Exemples d'activités possibles

- Observer différents granites (sain, altéré, arène) pour comprendre le principe d'altération du granite.
- Appréhender le supercontinent Pannotia à partir d'un modèle de la Terre ou d'une carte avec la position des continents à -600 Ma.
- Exposer des photographies de la faune d'Ediacara (Dickinsonia, Spriggina...).
- Réaliser et comparer des esquisses d'êtres vivants anciens à partir de clichés des fossiles.
- Faire circuler plusieurs matériaux et demander au public lequel ressemble le plus à la texture des 1ers métazoaires.

Certaines fiches sont plus accessibles que d'autres pour des élèves plus jeunes et/ou en difficultés scolaires.

L'enseignant.e y sera vigilant.e lors de la répartition des étapes à animer entre les élèves.

Heure de la journée pour cette période si l'histoire de la Terre tenait en 24h

Taux de luminosité du Soleil

Température moyenne de surface estimée (= indication, à relativiser)

Informations clés pour comprendre l'essentiel de ce qu'il s'est passé lors de cette étape.

Ces documents servent de base aux élèves pour qu'ils formulent leurs explications scientifiques à l'arrêt correspondant.

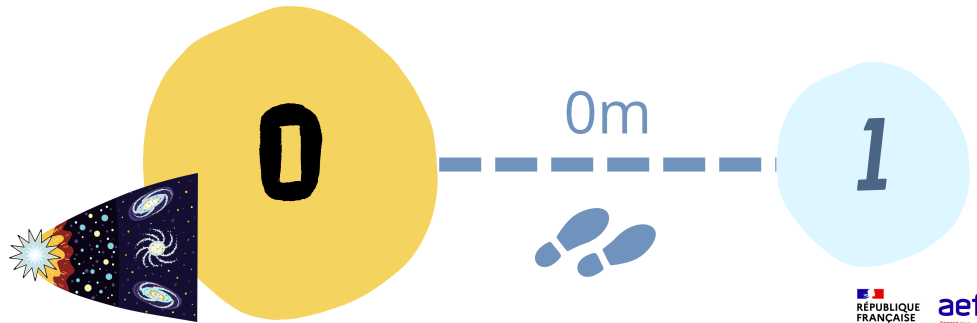
Ce document peut être distribué brut, associé à des aides (vocabulaire, ressources complémentaires...) ou être retravaillé par l'enseignant.e.

Propositions d'animation que les élèves peuvent réaliser devant le public ou faire réaliser au public lors de l'étape de la marche. Certaines activités peuvent également être des travaux faits en classe en amont pour **faire s'approprier les concepts** aux élèves.

Il s'agit de **pistes de réflexions**, pas d'une liste exhaustive à suivre. Les élèves concepteurs / animateurs de la marche sont invités à trouver leurs propres idées d'animation pour faire travailler **tous les sens** du public !

Inviter les élèves à approfondir les concepts des fiches via des activités ou des recherches complémentaires.

Fiches rédigées pour les enseignants mais pouvant être utilisées avec des collégiens de fin de cycle 4 et les lycéens avec les adaptations nécessaires.



FORMATION DE L'UNIVERS

- 13 800 millions années

-



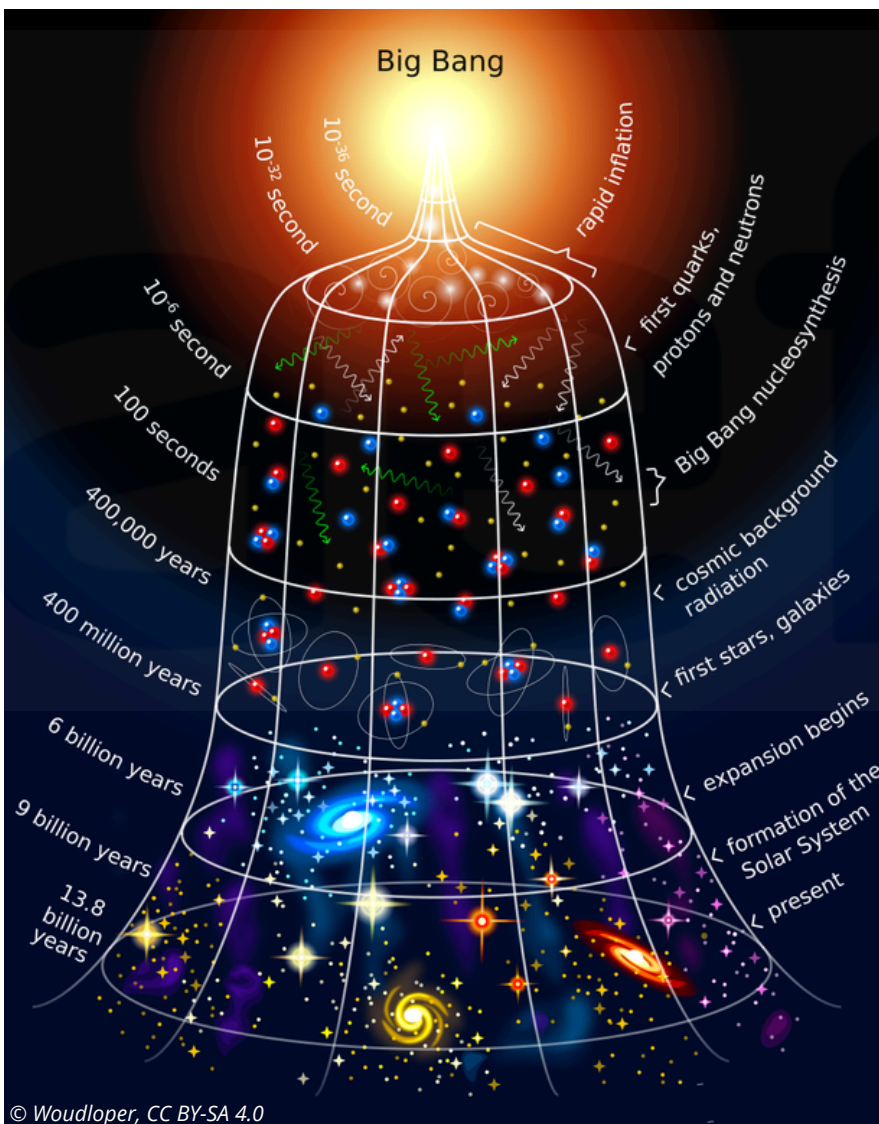
-

... %

... °C

- Comprendre l'origine de la matière.
- Avoir des connaissances sur l'univers et les galaxies.
- Appréhender le concept de Big Bang.

Histoire de l'Univers.



Le Big Bang est une sorte d'explosion, sans lumière, qui dispersa d'immenses quantités de matière à travers l'espace et le temps. Il faudra attendre 200 000 millions d'années après ce Big Bang pour que la lumière apparaisse.

Par endroit, la matière s'aggloméra pour former des étoiles et des galaxies...

L'une d'entre elles s'est ainsi formée il y a 11 milliards d'années : elle s'appelle la Voie Lactée. C'est dans cette galaxie que notre Terre se formera.

Cette phase de l'histoire de l'Univers est encore mal connue des scientifiques qui continuent à mener des recherches sur le sujet.

Exemples d'activités possibles

- Situer sur une carte un lieu à 13,8 km du départ pour situer le « Big Bang » sur notre Marche des temps géologiques.
- Observer des photographies de la Voie lactée en indiquant les conditions d'observation.
- Présenter la découverte de la Voie lactée, l'origine étymologique de son nom et/ou l'évolution des connaissances sur cette galaxie.
- Faire représenter au public la voie lactée dans du sable ou de la Terre et positionner le système solaire dedans.
- Écouter "Ainsi parlait Zarathoustra" de Strauss.
- Faire dessiner les représentations des élèves du "Big Bang".
- Utiliser le site internet "Birthday star" pour retrouver l'étoile qui le soir même renvoie des photons qui on le même âge que soi : <http://freeant.net/birthdaystar/>

ORIGINE DE LA TERRE

-4 560 millions années	Hadéen	00:00
- Comprendre la formation du système solaire et la différenciation de la Terre. - Comprendre la formation de la Lune, élément stabilisateur de la Terre, par Théia la percutant.		

71 % 

...°C 

Il y a 4,56 milliards d'années (- 4 560 Ma), le Soleil, notre étoile, et des planètes gazeuses et telluriques se forment. C'est le début du système solaire.

La formation de la Terre, une planète tellurique.

Sous l'effet de la gravitation, les éléments les plus denses se rassemblent vers le centre formant un noyau essentiellement composé de fer et de nickel. Autour, les éléments chimiques moins denses forment le manteau. En surface, au contact des températures froides de l'espace, le magma refroidit et se solidifie en une croûte : la Terre se forme. Sous la croûte terrestre, les échanges de chaleur entre le noyau et l'extérieur créent des mouvements existant encore aujourd'hui : les cellules de convection dans le noyau et le manteau, à l'origine de l'activité interne de la Terre.

Le système solaire.

Echelles non respectées.



© NASA Apollo 8 - B. Anders

La Lune, élément stabilisateur.

Lors du bombardement primitif, la Terre a été percutée par Théia. Des éclats, des débris des deux astres sont éjectés dans l'espace. Piégés dans l'orbite terrestre, ils forment la Lune, il y a 4,524 milliards d'années.



« Lever de Terre » sur Lune.

Photo prise le 24 décembre 1968 par Bill Anders. Elle montre la Terre semblant se lever derrière l'horizon lunaire.

Exemples d'activités possibles

- Extraire des informations du logiciel "Système solaire".
- Remettre dans l'ordre les planètes du système solaire (maquette à reconstruire, puzzle).
- Disposer, à l'échelle, des maquettes du Soleil, de la Terre et de la Lune.
- Comprendre l'origine étymologique du nom de la Lune et de Théia : dans la mythologie grecque, Théia est la mère de Séléné (Lune).
- Débattre à partir des différentes hypothèses explicatives actuelles : celle, imparfaite, de l'impact Terre-Théia, et les autres (fusion de deux planètes, Synestia,...).
- Écouter "J'ai demandé à la Lune", de Indochine.
- Étudier l'influence de la Lune sur les marées et la stabilisation de l'inclinaison de l'axe de la Terre (lien avec les saisons).
- S'interroger sur la vraisemblance des illustrations scientifiques, des vues d'artiste, etc.



MISE EN PLACE DES OCÉANS

-4 300 millions années

Hadéen



01:34

72 %

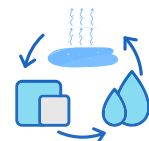


≈ 1300°C



- Comprendre que l'eau sous forme liquide n'apparaît pas tout de suite sur Terre : évoquer le principe de condensation.
- Aborder les hypothèses qui existent quant à l'apparition de l'eau sur Terre.
- Mettre en lien le bombardement massif de météorites sur Terre et la formation des océans.

L'eau est présente à plusieurs endroits de l'Univers, à l'état de vapeur et/ou de glace.

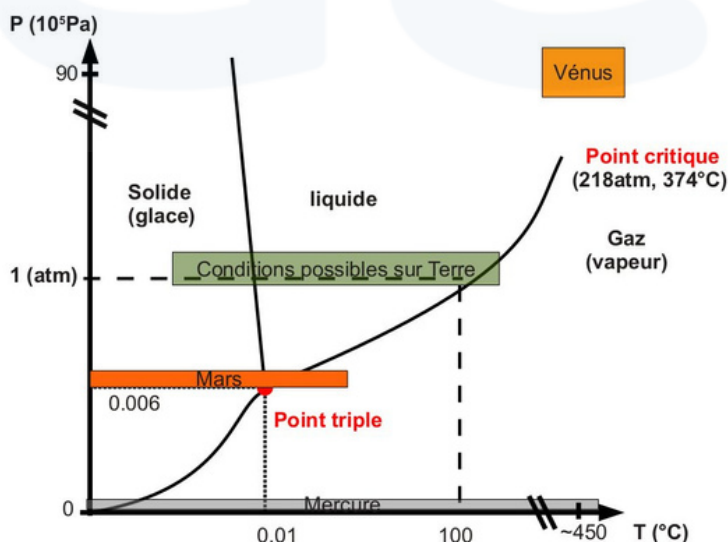


L'eau est apparue très rapidement sur Terre. L'atmosphère primitive était riche en vapeur d'eau, issue du dégazage de météorites ayant bombardé la Terre et de gaz volcaniques provenant d'éruptions de volcans.

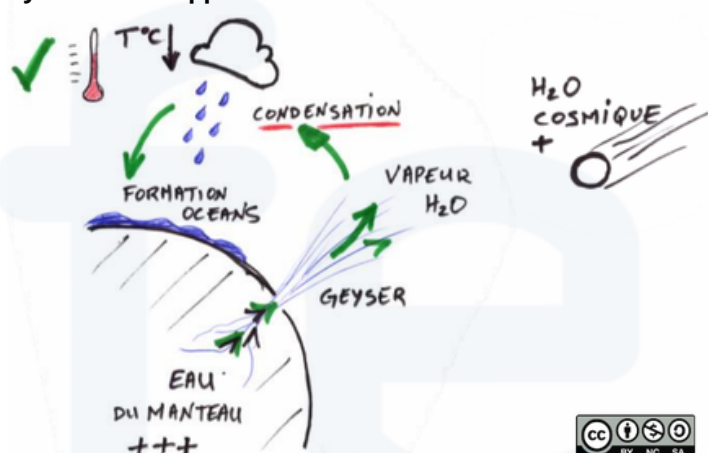
Le refroidissement de cette atmosphère a provoqué la liquéfaction de cette eau, permettant ainsi de former les océans.

Diagramme de phase de l'eau avec les différentes conditions de pression et de température régnant à la surface des planètes telluriques.

© Tristan Ferroir



Synthèse de l'apparition de l'eau sur Terre



Dossier "Marche du temps profonds" 2021

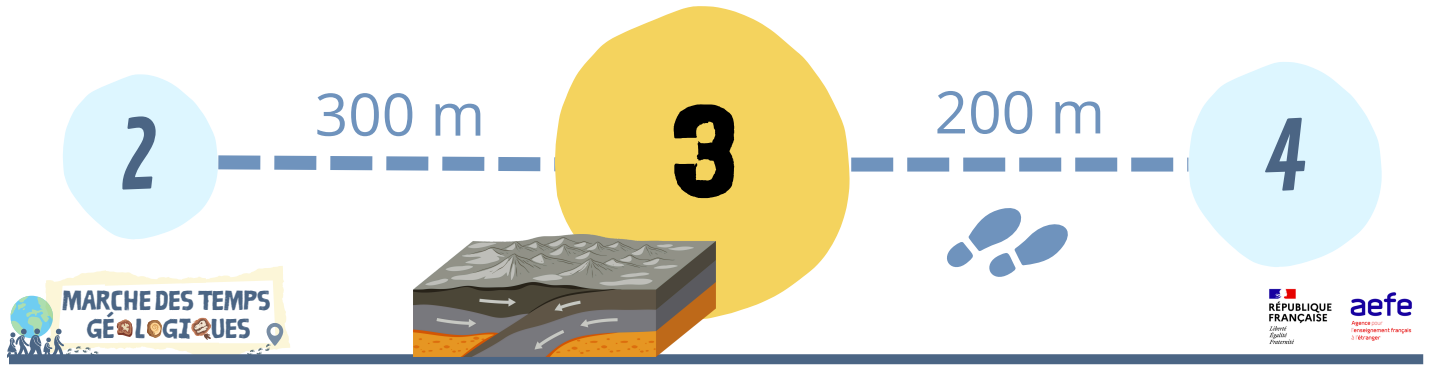
Actuellement, la seule planète connue présentant de l'eau liquide en surface est la Terre. En effet, seule la planète Terre possède les conditions de pression et de température permettant à l'eau d'être à l'état liquide à sa surface.



Exemples d'activités possibles

- Expérimenter sur les états de l'eau.
- S'interroger sur le rôle de l'eau chez les êtres vivants (eau constitutive et eau solvant), ses proportions, etc.
- Appréhender l'importance de l'eau dans son environnement proche à partir d'une exposition de photographies de l'eau près de l'endroit où nous habitons (lien avec EDD possible).
- Goûter : dégustation d'eaux minérales plus ou moins riches en NaCl.
- Écouter : The Big Blue d'Eric Serra, un fond sonore avec des bruits d'eau (mer, pluie...).
- Chercher la présence d'eau autour de nous et la mettre en évidence si possible (sulfate de cuivre anhydre).
- Représenter la surface de la Terre avant l'existence des continents.
- Évoquer différentes cultures ou sociétés liées à l'eau.





MISE EN PLACE DES PREMIÈRES ROCHES CONTINENTALES

-4 000 millions années

Hadéen-Archéen

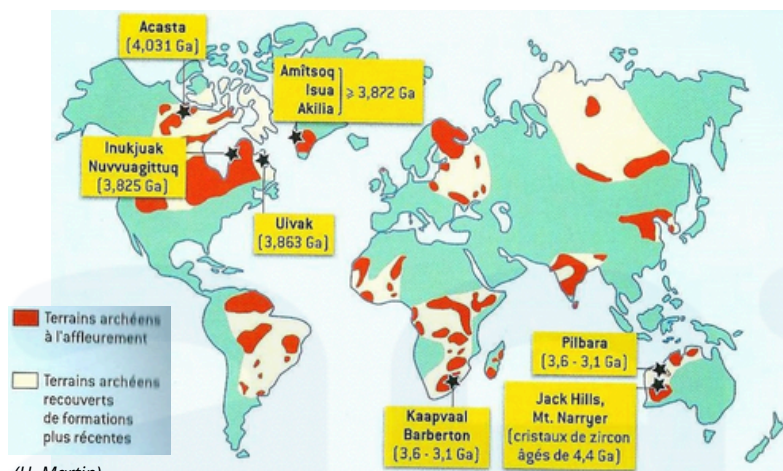
03:08

74 %

≈ 900 °C

- Découvrir l'existence et l'emplacement des plus vieilles roches terrestres.
- Comprendre la mise en place des premiers continents.
- Appréhender l'origine de la tectonique des plaques.

Localisation des principaux terrains archéens.



(H. Martin)

D'après Gargaud, 2009, <https://planet-terre.ens-lyon.fr/ressource/carte-geologique-monde.xml>

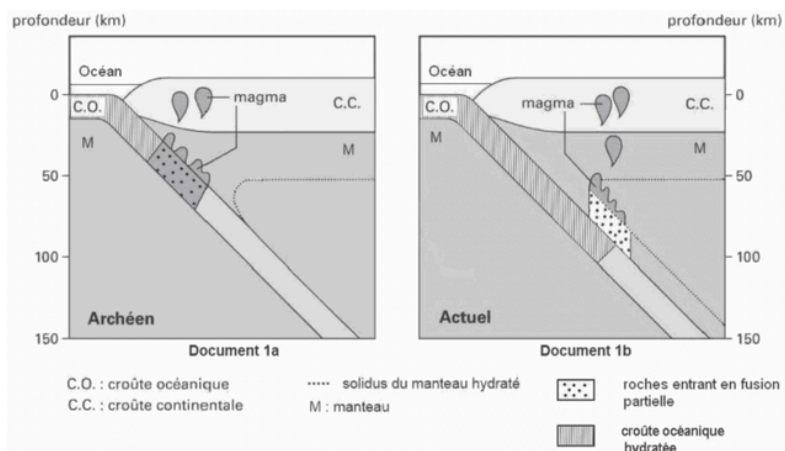
Les plus vieilles roches connues sont les gneiss d'Acasta (Canada), constitués de tonalites, de trondhjémites et de granodiorites (= TTG) ainsi que de granites, tous métamorphisés. Ces TTG sont les roches les plus fréquentes ayant été conservées depuis l'Archéen. Elles étaient les principaux matériaux des proto-continents.

Selon des mécanismes physico-chimiques similaires à ceux d'aujourd'hui au niveau des zones de subduction, elles proviennent de la fusion puis de la cristallisation fractionnée. Mais dans un contexte où le gradient géothermique était plus élevé, à cette époque, la source du magma à l'origine de la croûte continentale était, non pas le coin de manteau, mais la croûte océanique subductée elle-même.

La surface de la Terre refroidissant, des minéraux ont commencé à cristalliser lorsque le magma a atteint des températures inférieures à 700°C. Le magma étant ultrabasique (avec moins de 45 % de silice), les principaux minéraux qui se sont ainsi formés ont été de l'olivine et du pyroxène. Plus denses que le magma, ils auraient pu tous couler mais l'eau étant présente (à l'état de vapeur), ces minéraux se sont hydratés devenant assez légers pour flotter à la surface du magma et former peu à peu une proto-croûte constituée d'une roche ressemblant à de la serpentinite. Du fait du bombardement météoritique encore assez intense, cette proto-croûte était fracturée en petites plaques qui serviraient de base aux futurs continents sur Terre.

Modèles de genèse de la croûte continentale archéenne (document 1 a) et actuelle (document 1 b)

Bac S 2013 Émirats arabes unis, d'après H. Martin et J.-F. Moyen, *Geology*, 2002.



Exemples d'activités possibles



- Expérimenter la densité des roches.
- Modéliser la tectonique des plaques et/ou la fusion partielle.
- Présenter les plus anciennes roches de la Terre (localisation sur un planisphère, photographies des gneiss d'Acasta, des roches verte d'Isua, réalisation d'une frise chronologique des roches de l'Hadéen et de l'Archéen, etc.).
- Présenter les moyens de dater les roches.
- Découvrir l'étymologie des mots Hadéen et Archéen - Rechercher des informations sur Hadès.
- Fabriquer du Slime plus ou moins visqueux pour modéliser les matériaux présents sur Terre à l'époque et leur comportement.

3

200 m

4

1300 m

5



PREMIÈRES TRACES DE VIE

-3 800 millions années

Archéen



04:10

76 %



~ 300 °C

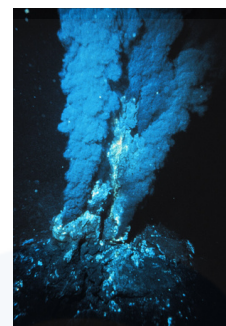


- Percevoir que toutes les espèces rencontrées sur Terre partagent un ancêtre commun unicellulaire.
- Définir le vivant.

LUCA : Last Universal Common Ancestor.

Il y a environ 3,8 milliards d'années, toutes les conditions étaient réunies pour que la vie puisse apparaître : la fin du grand bombardement météoritique, une bonne température, la présence d'eau liquide et des éléments chimiques constitutifs de matière vivante (C, O, H, N, Ph, S). C'est probablement dans l'océan, près des sources hydrothermales, que les premiers organismes vivants apparaissent. Ces organismes ressemblent à des bactéries très simples. Les scientifiques les surnomment LUCA (Last Universal Common Ancestor).

Une cheminée hydrothermale dans l'océan Atlantique.



Wikipedia, NOAA Photo Library

Stromatolites de Cochabamba (Bolivie).



Didier Descouens

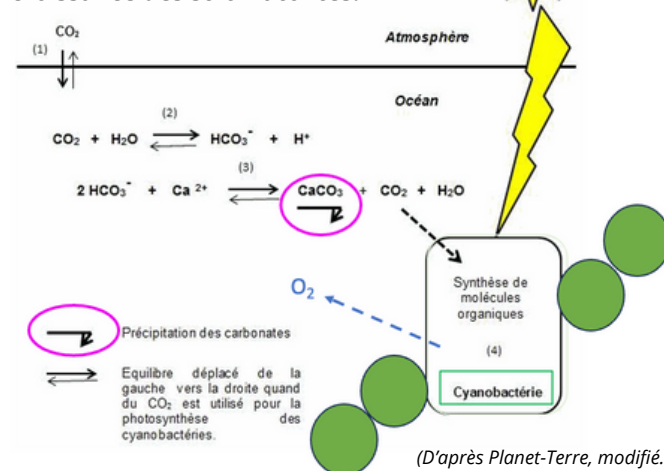
Des fossiles visibles : les stromatolites.

Les scientifiques ont retrouvé des structures produites par des organismes vivants à Issua Rocks au Groenland, à Pilbara en Australie et au Swaziland en Afrique du Sud. Ces structures en forme de millefeuilles, appelées stromatolites, ont grandi en eau peu profonde : des couches de bactéries de type cyanobactéries se développent en alternance avec des couches de carbonates dont la précipitation est induite par ces bactéries photosynthétiques.

La photosynthèse.

Il y a 3,4 milliards d'années, des bactéries oxydaient le fer présent en suspension dans l'eau. Cette découverte démontrerait l'existence d'une première forme de photosynthèse anoxygénique. Ainsi au début, la photosynthèse ne rejetait pas du dioxygène dans le milieu mais oxydait les ions fer en suspension dans l'eau. La photosynthèse oxygénique réalisée par les cyanobactéries et les végétaux actuels se serait mise en place un peu plus tardivement.

Processus chimiques à l'origine de la croissance des stromatolites.



Exemples d'activités possibles



- Dire / Jouer un texte décrivant l'ambiance sous l'eau où serait apparue la vie.
- Trinquier avec une boisson gazeuse à l'apparition de la vie sur Terre (gaz = hydrothermalisme).
- Étudier les stromatolithes actuels et appliquer le principe d'actualisme, tout en faisant preuve d'esprit critique.
- Débattre sur la définition du vivant.
- Expérimenter sur les échanges gazeux liés à la photosynthèse.
- Expérimenter sur la précipitation des carbonate de calcium.
- Découvrir la position des premiers continents à -2500 Ma..
- Observer des cyanobactéries au microscope (Nostoc).
- Imaginer la vie sur une autre planète.

4

1300 m

5

1000 m

6

O₂

DIOXYGÈNE DANS L'ATMOSPHÈRE

-2 500 millions années

Précambrien - Protérozoïque



10:57

80 %



≈ 60°C



- Comprendre la mise en place d'un premier couplage entre la biosphère, l'atmosphère et la lithosphère.
- Aborder les changements de composition de l'atmosphère.



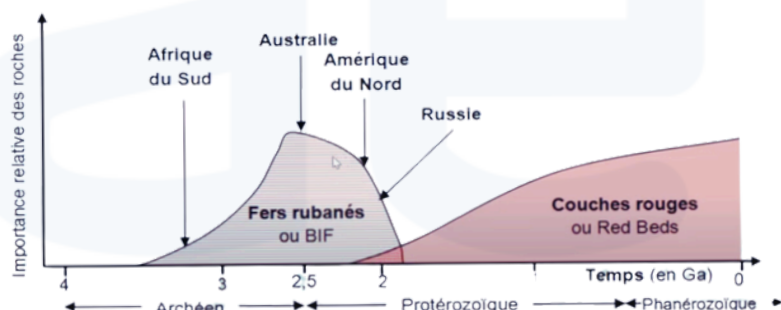
Échantillon de fer rubané (BIF)
Afrique du Sud (Baberton)

Une atmosphère réductrice avant 2,5 milliards d'années

L'existence des fers rubanés est un indice de l'oxygénation des océans. En effet, lors de l'altération par l'eau des roches continentales, des ions fer II sont libérés.

Lorsque l'atmosphère est dépourvue de dioxygène, ils persistent sous cette forme et sont transportés jusqu'aux océans. Dès qu'ils rencontrent des conditions oxydantes, ils s'oxydent en ion fer III et peuvent alors précipiter localement sous forme d'hématite et former des fers rubanés.

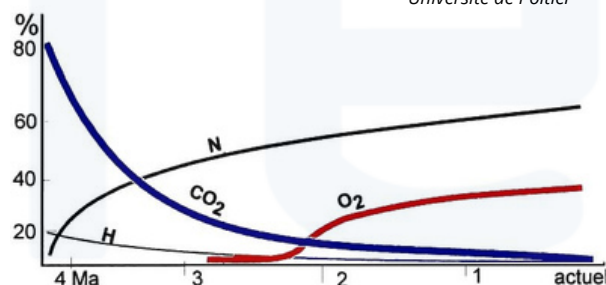
Formations de fers rubanés (océan) et de couches rouges (continent) au cours du temps.



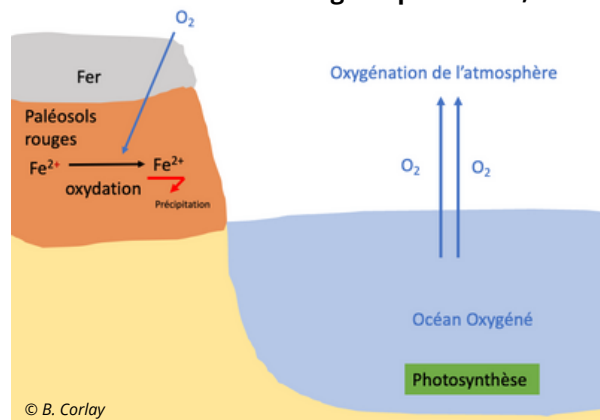
Banque de schémas de l'académie de Dijon d'après Planet-Terre, modifié.

Évolution de la composition de l'atmosphère.

Université de Poitiers



Formation des couches rouges à partir de 2,5 Ga.



La grande oxygénation à partir de 2,5 milliards d'années.

L'activité photosynthétique des cyanobactéries libère des molécules de dioxygène. Ces molécules gagnent l'atmosphère vers 2,5 milliards d'années. En présence d'une atmosphère oxydante les ions fer II s'oxydent directement au niveau des continents et peuvent former des couches rouges qui témoignent d'une atmosphère oxydante à partir de cette période.

Exemples d'activités possibles



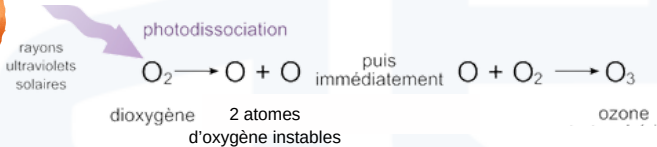
- Identifier des roches indices de la libération de dioxygène au moment de l'apparition de la vie.
- Mettre en évidence de la libération du dioxygène par la photosynthèse.
- Expérimenter l'oxydo-réduction du fer.
- Faire identifier les fers rubanés parmi un échantillon de roches.
- Relier l'exploitation du minerai de fer à ces fers rubanés.
- Découvrir l'utilisation du fer par les humains (histoire, arts).
- Comparer les boucliers archéens et le supercontinent Kernoland.

OZONE ET PREMIERS EUCARYOTES

-1 500 millions années	Précambrien - Protérozoïque	 17:14	89%
- Expliquer la formation de la couche d'ozone. - Comprendre les mécanismes ayant permis à la vie d'évoluer vers des organismes multicellulaires. - Comprendre l'importance de la symbiose dans le vivant, comme source de grandes innovations.			
~ 50°C			

L'ozone.

L'augmentation du dioxygène dans l'atmosphère a pour conséquence la formation naturelle d'un autre gaz, l'ozone (O_3). Les rayons ultraviolets (les UV-C), dissocient certaines molécules d' O_2 en 2 atomes d'oxygène : c'est ce que l'on appelle une photodissociation. Chacun de ces atomes d'oxygène, très instable isolément, réagit avec une autre molécule d' O_2 pour former une molécule d'ozone O_3 . Une couche d'ozone se mettra en place vers -600 Ma.



La vie pluricellulaire.

La faune de Franceville au Gabon ou Gabonionta est un ensemble de 250 fossiles datés de 2,1 milliards d'années. Ce sont les plus vieux fossiles eucaryotes protistes identifiés. Certains de ces fossiles pluricentimétriques étaient des organismes pluricellulaires planctoniques. Cette biodiversité de milieu marin peu profond est concomitante avec un pic de dioxygène dans l'atmosphère.

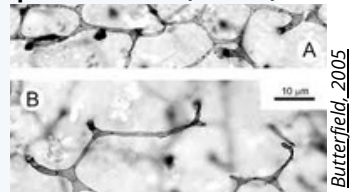
Des organismes unicellulaires commencent à s'assembler et à coopérer, échangeant des services mutuels, un processus connu sous le nom de symbiose. Grâce à ces symbioses, les premiers organismes eucaryotes pluricellulaires se développent rapidement.

Modèle d'une endosymbiose primaire.



Bac Sept.2022-Sujet 1 Amérique du Sud- D'après Médecine et science – Med Sci (Paris), 28 2 (2012) 163-171, modifié.

Tappania, champignon pluricellulaire (-1.4 Ga)

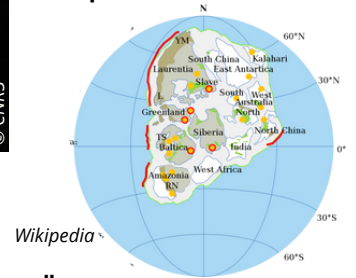


Quelques exemples
d'eucaryotes pluricellulaires
fossiles : "Algues rouges" du
genre *Bangiamorpha*, (-1,2 Ga)
et Champignons *Tappania*
(-1,4 Ga).

Macrofossile multicellulaire complexe et organisé trouvé au Gabon.



**Reconstitution du
supercontinent Columbia.**



La tectonique au Protérozoïque.

Formation du supercontinent Columbia. Plusieurs orogénèses ont permis la réunion de la plupart des masses continentales de la Terre entre -2,2 et -1,5 milliards d'années.

Exemples d'activités possibles

- Observer au microscope des Eucaryotes : hyphe de champignon actuel, algues, nostoc...
- Identifier une (des) symbiose(s) à partir de la définition de ses critères.
- S'informer sur la couche d'ozone et son évolution récente suite aux actions humaines (trou en résorption).
- Modéliser la tectonique / reconstituer le supercontinent Colombia (puzzle);
- Déguster des algues et/ou des champignons.

6

650 m

7

220 m

8



TERRE BOULE DE NEIGE

-850 millions années

Précambrien - Protérozoïque



19:57

94 %



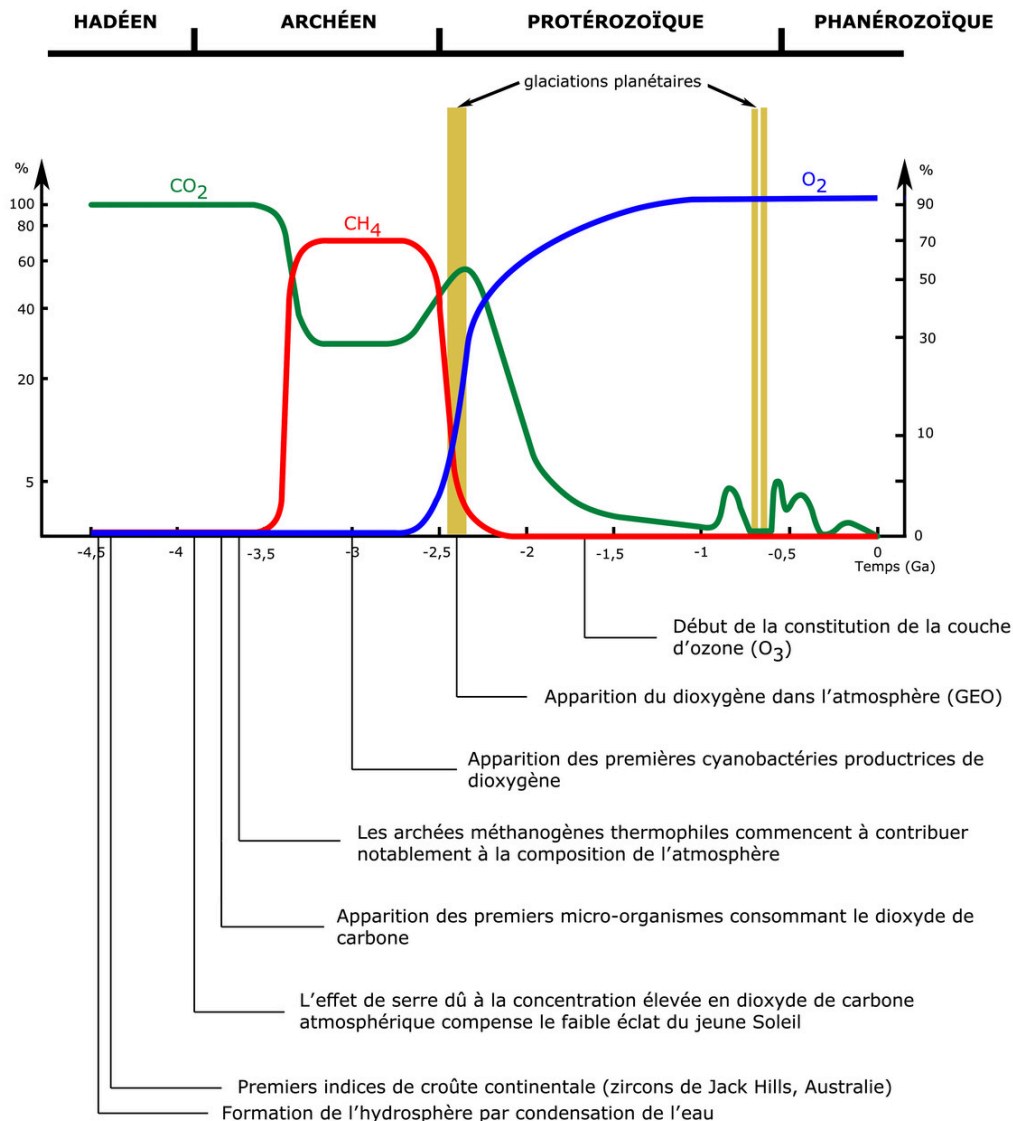
≈ -30°C



- Comprendre les interactions fortes entre biosphère, géosphère et atmosphère.
- Expliquer le principe de l'effet de serre.
- Appréhender les épisodes de glaciations planétaires.

Variation de la concentration relative de l'atmosphère terrestre en dioxygène, méthane et dioxyde de carbone, de la naissance de la Terre à l'époque présente.

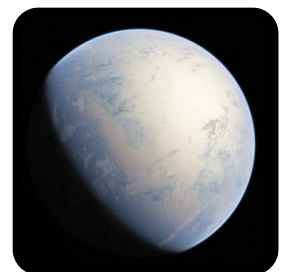
(d'après Kasting J., 2004, modifié en intégrant les données de Berner R.A., 1997, 1999 ; Pavlov A. et al., 2003 ; Donnadieu Y. et al., 2004 ; Hoffman P.F. et al., 2017).



Plusieurs fois au cours de son histoire, la Terre s'est couverte intégralement de glace.

La première glaciation (glaciation hudsonienne il y a 2 Ga) est liée à une augmentation de la teneur ajoutée en dioxygène et une baisse de celle en méthane (puissant gaz à effet de serre) de l'atmosphère.

Les glaciations du Cryogérien, de -720 Ma à -635 Ma sont à relier à la tectonique des plaques : après la fragmentation du supercontinent Rodinia, l'érosion est très intense, ce qui diminue la quantité de CO₂ atmosphérique (gaz à effet de serre) et entraîne une baisse de température moyenne d'environ 50°C.



Représentation artistique d'une Terre Boule de Neige entièrement gelée, sans eau liquide à la surface.

Wikipedia

Exemples d'activités possibles



- Étudier des indices géologiques de glaciation (tillites, dropstones, moraines, roches striées, etc.) via des échantillons ou des illustrations. Localiser ceux présents éventuellement dans votre région.
- Cuisiner et déguster des pâtisseries "boule de neige".
- Toucher à l'aveugle de la neige ou de la glace pour faire deviner l'état de la surface de la planète.
- Découvrir les différentes nuances de blanc ou d'appellation de la neige dans une autre langue.
- Sensibiliser aux différents potentiels de réchauffement global des principaux gaz à effet de serre.

FAUNE DE L'EDIACARIEN

-630 millions années	Précambrien - Protérozoïque	 21:19
----------------------	-----------------------------	--

Interprétation de la vie à l'Ediacarien.



Ryan Somma. CC BY-SA 2.0

Le rôle des granites.

L'érosion des granites formés lors de la mise des supercontinents précédents (Colombia, Rodinia) a permis de libérer dans les océans une grande quantité de métaux lourds (zinc, cuivre, molybdène). Or, il semblerait que la vie multicellulaire n'ait été possible que grâce à certaines protéines utilisant les métaux lourds.

Tectonique à -600 Ma : Pannotia.

La faune d'Ediacara est retrouvée sur cinq continents. Ce constat est en faveur de l'existence du supercontinent Pannotia de -600 Ma à -540 Ma.

Les orogénèses panafricaines et cadomienne sont des orogénèses à l'origine de ce supercontinent.

Les premiers métazoaires.

La faune de l'Ediacarien est datée de -600 Ma, elle regroupe un ensemble de métazoaires conservés sous forme de traces (animaux pluricellulaires avec des cellules spécialisées dans différentes fonctions).

Cette faune surtout retrouvée à Ediacara en Australie, correspond à des animaux à corps mous, sans squelette minéralisé ressemblant à des méduses, des coraux, des vers. D'autres animaux (les vendobiotes) ne ressemblent à aucun autre animal connu.

Représentation de la Pannotia de -600 à -540 Ma.



Aymatth2

Exemples d'activités possibles

- Observer différents granites (sain, altéré, arène) pour comprendre le principe d'altération du granite.
- Appréhender le supercontinent Pannotia à partir d'un modèle de la Terre ou d'une carte avec la position des continents à -600 Ma.
- Exposer des photographies de la faune d'Ediacara (Dickinsonia, Spriggina...).
- Réaliser et comparer des esquisses d'êtres vivants anciens à partir de clichés des fossiles.
- Faire circuler plusieurs matériaux et demander au public lequel ressemble le plus à la texture des 1ers métazoaires.

EXPLOSION CAMBRIENNE

-540 millions années

Paléozoïque - Cambrien



21:50

96 %



~ 18°C



- Identifier les conditions ayant permis à la vie de se diversifier.
- Percevoir l'accélération de la diversification des espèces.
- Prendre conscience de la fragilité du vivant : introduction de la notion d'extinction.

Le "Big bang" de la vie ?

Il y a 540 millions d'années, la **faune du Schiste de Burgess** apparaît. La très grande variété de fossiles connus à partir du Cambrien, a longtemps fait penser que cette période avait connu une véritable explosion de la vie. On sait aujourd'hui que cette extraordinaire diversification avait débuté avant le Cambrien, mais les organismes d'alors ne possédant pas de squelette, peu d'entre eux ont pu se fossiliser et se conserver sous la forme de traces jusqu'à aujourd'hui.

Le Cambrien marque cependant l'histoire de la vie par l'apparition et la multiplication, sur les fonds marins, de très nombreuses espèces de vers, coquillages, crustacés, mollusques mais aussi de groupes d'animaux disparus depuis, comme les trilobites et les radiodonts.

À l'origine de cette diversification de la vie.

Les scientifiques recherchent encore activement les causes de cette explosion cambrienne. Elle semble avoir été favorisée par plusieurs facteurs :

- disponibilité accrue d'éléments chimiques comme le dioxygène et le calcium ;
- évolution des génomes entraînant l'apparition de nouvelles combinaisons anatomiques, source de diversité ;
- érosion des côtes libérant des éléments tels que le calcium, que les organismes ont pu utiliser pour créer des coquilles et squelettes ;
- coévolution entre prédateurs et proies...

L'étude de cette faune nous montre que l'évolution de la vie multicellulaire a été marquée par une réduction de l'importance diversité initiale, suivie par la multiplication de quelques formes d'organisation.

Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'évolution ne s'est pas traduite par une complexité croissante et une augmentation générale de la diversité des formes anatomiques.

Pikaia, l'un des premier Chordé, ancêtre des Vertébrés.



Pikaia gracilens, Longueur du spécimen = 53 mm
© SMITHSONIAN INSTITUTION - PHOTOS : Jean-Benoît CARON



Anomalocaris



Trilobite



Hallucigenia

Les dernières recherches indiquent qu'une explosion rapide d'évolution aurait pu être causée par une petite augmentation du dioxygène atmosphérique et des eaux océaniques peu profondes. On pensait jusqu'alors que c'était une augmentation plus importante qui en était la cause.

Une véritable course à l'armement.

L'hypothèse qui est retenue maintenant est que l'écosystème de Burgess est une course à l'armement portée par une dynamique d'évolution réciproque : lorsqu'un organisme se retrouvait équipé d'une carapace, seul un prédateur ayant un moyen de la percer pouvait s'en nourrir pour vivre et se reproduire. Seuls les proies les mieux protégées et les prédateurs les mieux équipés survivaient alors.

D'après les propos de Philippe Janvier, directeur de recherche émérite au Muséum et au CNRS, sur France Culture

Exemples d'activités possibles



- Observer des fossiles de cette période, comparer avec les organismes actuels.
- Utiliser l'arbre phylogénétique pour montrer la forte diversification liée à cette période.
- Trouver le nom d'un trilobite à partir d'un fossile et d'une clé de détermination.
- Reconnaître un fossile en ayant les yeux bandés.
- Dire et jouer l'explosion : travail lexical et artistique (lettres, langues vivantes, musique, danse, théâtre...).
- Faire le lien entre la fragmentation du supercontinent Pannotia et l'explosion cambrienne.

9

100 m

10

190 m

11



PANGÉE ET DÉVELOPPEMENT DE LA VIE SUR LES CONTINENTS

-440 millions années

Paléozoïque - Ordovicien à Carbonifère



22:22

97 %



≈ 10°C



- Mettre en évidence la formation d'un supercontinent, la Pangée.
- Expliquer que l'apparente "dérive des continents" est due à la tectonique des plaques.
- Comprendre les interactions entre la vie sur Terre, l'atmosphère et le climat.

La formation du supercontinent Pangée de l'Ordovicien au Carbonifère.

À l'Ordovicien, les mouvements des plaques tectoniques provoquent le rapprochement de plusieurs petits continents, des collisions entre ces masses continentales. Ceci engendre la formation d'une immense chaîne de montagnes, la chaîne hercynienne ou varisque. Au début du Carbonifère, les supercontinents Laurussia et Gondwana se rapprochent pour finalement former la Pangée au niveau équatorial. Cette zone géographique correspond aux actuelles Amérique du Nord, Europe et Asie.

Fossile de Meganeura

Hcrepin Wikimedia



Au Carbonifère, l'abondance en dioxygène de l'atmosphère permet l'existence d'insectes géants, comme les libellules du genre Meganeura, atteignant 70 cm d'envergure !

En 1912, Alfred Wegener, astronome et climatologue allemand, présente son hypothèse de la dérive des continents. Il s'appuie sur divers arguments scientifiques (géologie, paléontologie, climatologie, ...).

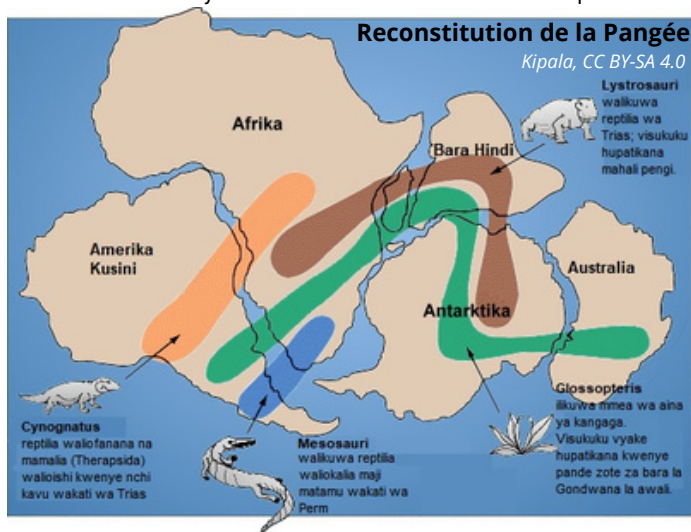
L'apparente dérive des continents est expliquée plus tard par la tectonique des plaques, un processus où les plaques lithosphériques de la Terre se déplacent sur l'asthénosphère sous-jacente, entraînant ainsi le mouvement des continents.

Les forêts du Carbonifère.

À partir de -359 Ma, les premières plantes ligneuses apparaissent. La lignine est un composant de base du bois (xylème) qui provient de la transformation d'un produit de la photosynthèse.

Plus tard, d'immenses forêts couvrent les continents. Or, aucune espèce vivante n'est encore capable de décomposer complètement la lignine quand l'arbre meurt et le dioxyde de carbone qui a été nécessaire à sa fabrication n'est pas restitué dans l'air. Une très grande quantité de bois mort s'accumule à terre et s'enfouit petit à petit dans le sol, se transformant très lentement en charbon.

Il y a de moins en moins de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, l'effet de serre chute. Un peu plus tard, des champignons pouvant décomposer le bois pour se nourrir apparaissent et, ce faisant, libèrent le dioxyde de carbone dans l'atmosphère.



Exemples d'activités possibles



- Générer une image d'un paléoenvironnement du Carbonifère via une IA générative en utilisant des indices fossiles.
- Reconstituer la position des continents dans le passé à travers l'étude de divers indices (puzzle).
- Retracer l'historique de l'élaboration de la théorie de la dérive des continents. Possibilité de le faire sous forme de récit historique enregistré.
- Réaliser des sculptures des insectes géants du Carbonifère.
- Faire dessiner au public tout ou partie d'un écosystème du Carbonifère avec des bâtons de charbon de bois.

10

190 m

11

100 m

12



CRISE PERMIEN-TRIAS

-250 millions années

Paléozoïque - Permien



23:19

98 %



~ 10°C



- Percevoir l'accélération de la diversification des espèces.
- Prendre conscience de la fragilité du vivant : introduction de la notion d'extinction de masse.
- Comprendre les interactions fortes entre conditions géo-climatiques et vivant.

Il y a 252 Ma, 96 % des espèces marines et 70 % des espèces terrestres ont été anéanties. L'origine de cette crise est encore débattue (météorite, tectonique des plaques, changement climatique) mais le volcanisme intense est le principal suspect !

Couches de roches magmatiques du plateau de Putorana.



Le volcanisme intense en Sibérie (Trapps de Sibérie).

Durant une période d'environ 1 Ma, 4 millions de km³ de lave se sont écoulées par un volcan de point chaud en Sibérie. Cela a eu pour conséquence de rejeter dans les océans et dans l'atmosphère des substances nocives soufrées et chlorées. L'effet de serre a augmenté et la température terrestre s'est élevée de près de 11 °C.

Fossile de trilobite, *Cummingella belisama* (18 mm).

Cette crise marque la fin de ce groupe d'Arthropodes (les Trilobites) qui a colonisé les mers durant 300 millions d'années.



CC BY-SA 3.0, Dwergerpaartje

Un enfer climatique.

Face aux changements de température rapides et à la diminution de la teneur en dioxygène dans les océans (anoxie), une grande partie des êtres vivants n'ont pas pu survivre, entraînant la disparition de leur espèce.

La radiation évolutive du Trias : une faune transformée.

Les reptiles vont profiter des modifications induites par cette crise. Ce groupe va prendre son essor et se diversifier :

- dans les mers, avec les ichtyosaures ("reptiles-poissons") et les sauroptérygiens ;
- sur terre, les crocodiliens et les dinosaures ;
- dans les airs, avec les reptiles volants (ptérosaures).



Les insectes à métamorphose complète (holométaboles) et les coléoptères vont également se diversifier à cette époque.



Fossile d'ammonites (*Harpoceras*) et d'ichtyosaure.

Plaque : 125x120 cm.



Didier Descouens,
CC BY-SA 4.0



Exemples d'activités possibles

- Montrer des fossiles ou des images de fossiles présents avant la crise et après la crise.
- Modéliser un volcan effusif.
- Écouter et/ou regarder une éruption effusive.
- Danser une extinction suivie d'une radiation évolutive.
- Mener un quiz pour faire reconnaître les reptiles caractéristiques du Trias.
- Produire une œuvre d'art sur la crise Permien-Trias.

11

100 m

12

85 m

13



TECTONIQUE AU TEMPS DES DINOSAURES

-150 millions années

Mésozoïque - Jurassique puis Crétacé



23:42

99 %



≈ 10 à 20°C



- Comprendre les interactions fortes entre conditions géo-climatiques et vivant.
- Faire prendre conscience qu'à cette période les dinosaures dominent mais de très nombreuses autres espèces sont aussi présentes.
- Percevoir la richesse et la variation de la biodiversité au cours du temps.

Au **Jurassique**, la Pangée n'existe plus, morcelée par les océans Atlantique et Téthys... Ces modifications géomorphologiques vont avoir des conséquences différentes selon les milieux : alors que la plupart de la faune marine se disperse largement grâce à l'ouverture des voies maritimes, la faune terrestre se heurte, elle, à des barrières géographiques qui isolent leurs populations.

Toutes deux vont ainsi évoluer de façon opposée : les premières sont plutôt cosmopolites (semblables dans toutes les régions du monde) tandis que les secondes seront de plus en plus caractéristiques d'une région géographique délimitée. Ainsi, les grands reptiles marins sont assez similaires alors que les dinosaures se diversifient, certains deviennent des géants, un groupe donnera les oiseaux. Les insectes connaissent également une forte diversification. Côté forêts, les plantes à graines prospèrent mais les fougères restent très présentes dans certains milieux.

Tyranosaure



Triceratops



Au **Crétacé**, la Pangée continue de se fragmenter. À la fin du Crétacé, les températures moyennes sont supérieures à 18 °C. Le niveau des mers s'élève. Il y a cinq fois plus de CO₂ dans l'atmosphère qu'en 2024. Ces bouleversements climatiques ouvrent de nouvelles niches écologiques.



Les plantes à fleurs connaissent un très fort succès évolutif, événement majeur de la formation des écosystèmes à venir. Elles sont accompagnées de nombreux pollinisateurs. Les ammonites et reptiles marins sont fréquents dans les océans tandis que les espèces d'oiseaux se diversifient.



Les dinosaures sont partout mais les mammifères aussi, en grand nombre, sous des formes très variées et dans tous les environnements.



Cône fossilisé de *Araucaria* sp.

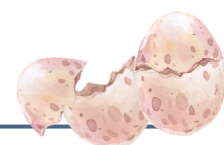
Cône pétrifié d'*Araucaria mirabilis* ; âge : Jurassique (approx. 160 mya); lieu : Patagonia, Argentina. Source Wikipedia.



Le dinosaure à plumes

Caudipteryx (1m env.)

Houston Museum of Natural Science, Houston, Texas, USA. Source Wikipedia.



Exemples d'activités possibles



- Étudier des fossiles de dinosaures et les comparer avec les oiseaux actuels.
- Faire générer une image d'un paléoenvironnement à une IA générative en utilisant des indices fossiles.
- Relier l'évolution des Thyroïdophores et la tectonique des plaques (exemple [ici](#)).
- Imaginer les sons émis par un T-Rex et les comparer avec [ceux reconstitués](#).
- Retrouver [l'alimentation d'un jeune tyrannosaure](#) et/ou d'un [ankylosaure](#) (parmi des possibles)... et se restaurer !
- Cuisiner et déguster des biscuits en forme de dinosaures.
- Relever les anachronismes dans une image ou un film impliquant les dinosaures.

12

85 m

13

20 m

14



CRISE CRÉTACÉ-PALÉOÈNE

-65 millions années

Mésozoïque - Crétacé



23:57

99 %



≈ 12°C

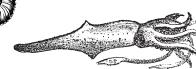


- Déconstruire l'idée d'une cause cataclysmique unique et soudaine.
- Relier la disparition massive d'espèces avec l'expansion d'autres.
- Comprendre les interactions fortes entre conditions géo-climatiques et vivant.

La crise du Crétacé-Paléogène est une extinction de masse survenue voici 65,5 millions d'années. Environ 76 % des espèces marines de la planète se sont éteintes, parmi lesquelles figurent les ammonites, les bélemnites et les rudistes. Des disparitions en nombre ont aussi été recensées sur la terre ferme, dont les dinosaures.



Ammonite



Bélemnite

Une origine cosmique.

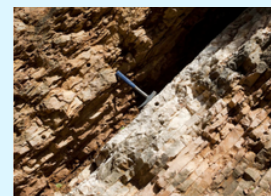
Des observations dans les sédiments de la limite Crétacé-Paléogène apportent la preuve de l'implication d'une météorite dans la catastrophe : le pic d'iridium et la magnétite nickélique. La présence de "minéraux choqués" s'explique par l'impact d'une météorite sur la presqu'île du Yucatan.

Une crise biologique brutale

L'acidification brutale des océans et la perturbation de la photosynthèse affectent particulièrement les producteurs carbonatés pélagiques (coccolithophoridés et foraminifères planctoniques) qui absorbent le CO₂ pour former leurs coquilles. Leur disparition modifie le cycle du carbone en faisant augmenter la quantité de CO₂ atmosphérique.

La limite Crétacé-Paléogène voit ainsi une extinction brutale (en un laps de temps très court) et le renouvellement quasiment complet du microplancton et du nannoplancton calcaire.

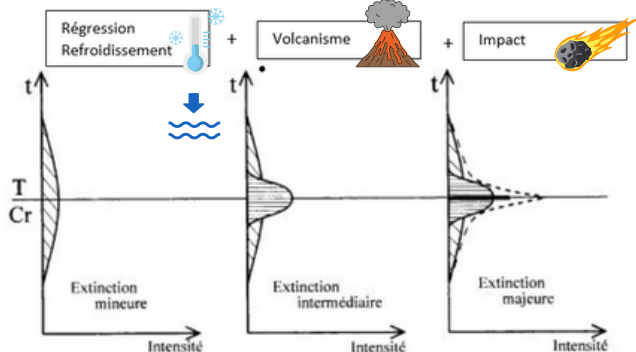
Photographie de la coupe de référence de la Contessa, située dans la région de Gubbio en Italie : les séries carbonatées sont interrompues par un fin niveau argileux contenant l'anomalie en iridium.



© 2023 Delphine DESMARES - CC-BY-ND <https://planet-terre.ens-lyon.fr>

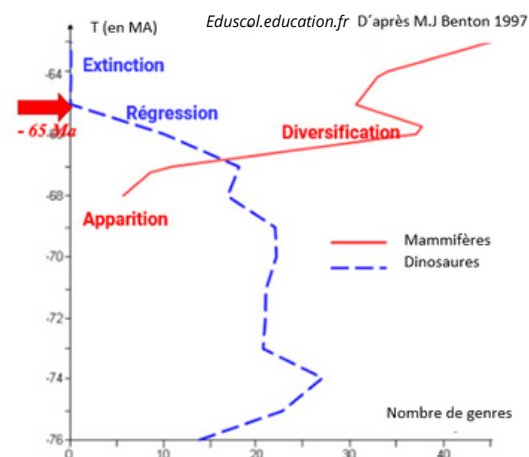
Évolution de la biosphère et événements géologiques.

T = Tertiaire (Paléogène), C = Crétacé, t = temps,
F. Lethiers, 1998, <https://planet-terre.ens-lyon.fr>



Coccolithophoridés
Gephyrocapsa oceanica (trait : 1 µm),
Wikipedia.

Évolution du nombre de genres de dinosaures et de mammifères à la limite Crétacé-Paléogène.



Une conjonction d'événements catastrophiques :

- Une régression du niveau marin
- Un volcanisme exceptionnel (Trapps du Dekkan, 500 000 km² de basaltes)
- Un refroidissement global.

Exemples d'activités possibles

- Écouter "Fossiles" extrait de "Le carnaval des animaux", de Camille Saint-Saëns.
- Étudier l'évolution de la biodiversité durant cette crise (ex : groupe des archosauriens/foraminifères marins).
- Observer la diversité de fossiles : ammonites, rudistes...
- Observer du plancton au microscope / Faire une exposition de la diversité du plancton fossile et actuel.
- Étudier les conséquences d'éruptions volcaniques et d'impact de météorites sur l'environnement. (Logiciel Google Earth)
- Réaliser des réactions chimiques (modèles) pour comprendre l'impact du CO₂ sur les carbonates (lien avec cycle carbone).



13

20 m

14

20 m

15



OROGENÈSE ALPINE ET ÉVOLUTION DU VIVANT

-45 millions années

Cénozoïque

Tertiaire Paléogène
(Éocène)

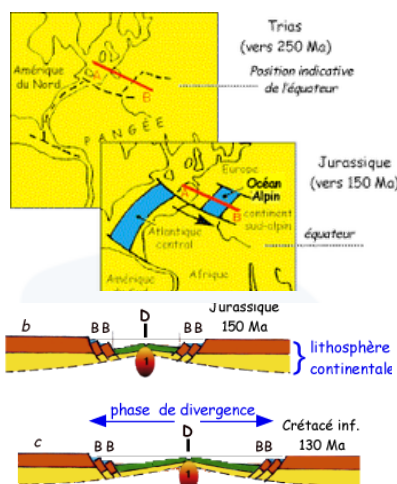
23:58:15

99 %

≈ 5°C

- Comprendre les mécanismes de mise en place de la lithosphère océanique.
- Aborder les notions de subduction et de collision.
- Prendre conscience de l'évolution des espèces vivantes en lien avec la géodynamique.

Ouverture de l'océan Alpin il y a 150 Ma.



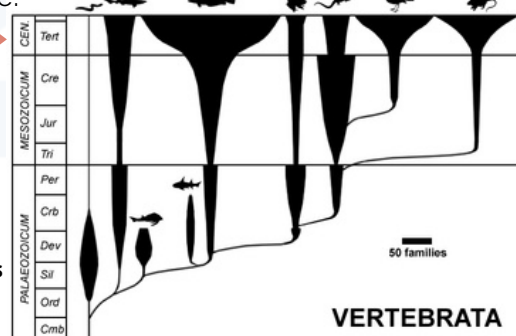
Ouverture des océans Alpin et Atlantique
D'après M. Lemoine APBG 1990

Le supercontinent Pangée se fragmente : l'océan Alpin et l'océan Atlantique se forment, avec la mise en place d'une lithosphère océanique. Dans les Alpes, il existe des témoins de cette ancienne lithosphère océanique notamment dans le massif du Chenaillet (les ophiolithes).

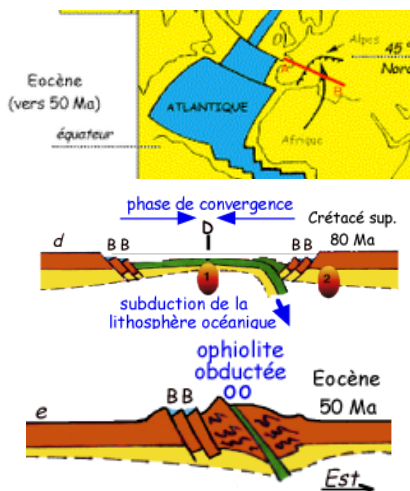
Radiation évolutive à l'Eocène (-56 à -33 Ma).

L'Éocène est également marquée par une forte diversification des espèces de mammifères, d'oiseaux et de poissons actinoptérygiens. On parle de radiation évolutive.

Évolution des vertébrés.
Paul Bockman



Fermeture de l'océan Alpin et collision continentale, il y a 50 Ma.

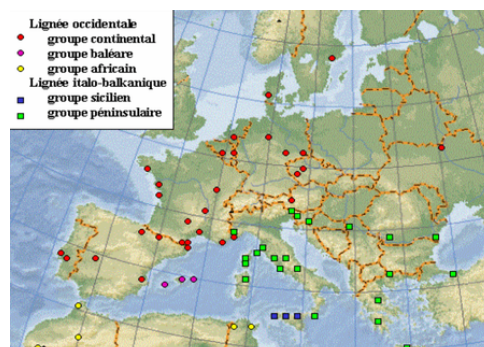


Fermeture de l'océan Alpin.
D'après M. Lemoine APBG 1990

Au Crétacé inférieur, l'océan Alpin atteint sa taille maximale (1000 km). Il se referme ensuite par subduction. À l'Éocène (-50 Ma), il s'est complètement refermé : les deux masses continentales situées de part et d'autre entrent en collision : c'est la formation des Alpes.

La barrière géographique des Alpes.

Suite à leur formation, les Alpes ont constitué une barrière géographique. De part et d'autre des Alpes, des lignées d'une même espèce ont pu évoluer distinctement et diverger à un point tel que ces populations sont devenues reproductivement isolées ; c'est une situation d'allopatrye pouvant créer de nouvelles espèces.



Répartition des lignées de murex sylvestres en Europe.
(d'après Libois et al., 2001; Michaux et al., 1998 & 2003)

Exemples d'activités possibles

- Exposer des photographies sur les massifs alpins et mettre en avant les indices d'un ancien océan qu'il contient.
- Modéliser la subduction et/ou de la collision.
- Montrer des gravures d'animaux de l'Eocène (mammifères et oiseaux) et les comparer aux animaux actuels.
- Observer des métagabbros et éclogites (retrouvés dans les Alpes) et les relier à l'histoire du massif.
- Déguster une spécialité des Alpes (tarte aux myrtilles, fondant aux châtaignes...) ou boire une eau minérale des Alpes.
- Dire un texte dans les différentes langues parlées dans les Alpes.

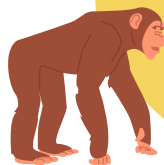
14

20 m

15

18 m

16



CHANGEMENTS GÉOLOGIQUES ET PREMIERS HOMINOÏDES

-25 millions années

Cénozoïque

Tertiaire Paléogène
(Oligocène)

23:59:01

99 %



≈ 5°C



- Faire le lien entre les événements géologiques et l'évolution du vivant.
- Situer la place de l'être humain dans le groupe des Hominoïdes.
- Connaître ce qui caractérise les Hominoïdes et le moment de leur apparition.

Il y a 25 millions d'années environ, l'Inde entre en collision avec le continent eurasiatique et forme l'Himalaya, l'isthme de Panama se referme et relie les Amériques du Nord et du Sud, formant une séparation entre Atlantique et Pacifique. Le courant de Drake se met en place autour de l'Antarctique et la planète se refroidit progressivement jusqu'à s'approcher du climat actuel.

Sur la terre ferme, les prairies de graminées deviennent fréquentes et la faune se transforme sous la pression de sélection, engendrant de nouveaux écosystèmes proches de ceux que l'on connaît aujourd'hui.

Proconsul adoptant une marche bipède dans les arbres (reconstitution).



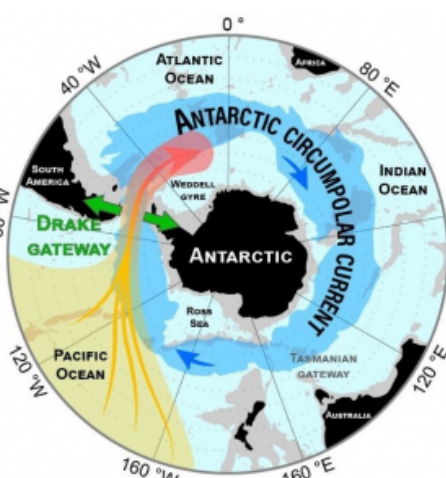
Hominidés.com

Les hominoïdes.

Les premiers hominoïdes, apparaissent à cette époque, par exemple *Proconsul* ou *Morotopithecus*. Correspondant à la lignée des grands singes, ils comprennent un grand nombre d'espèces particulièrement présentes dans les forêts d'Afrique dans lesquelles ils investissent toutes les niches écologiques du milieu forestier. Les modes de locomotion sont multiples, de la quadrupédie au sol au déplacement arboricole.

Une classification qui peut varier en fonction du type de données pris en compte.

Les Hominoïdes sont des Primates, Haplorhiniens ("singes de l'Ancien monde), Cathariniens. Ils se distinguent des Cercopithécoïdes par le fait qu'ils n'ont pas de queue, une taille importante, des membres antérieurs plus longs que les postérieurs, une démarche bipède ou quadrupède (avec mains en appui sur le dos des phalanges (knuckle-walking) pour les chimpanzés et les gorilles).



Ouverture du passage de Drake.

© CNRS, Florent Hodel, modifié d'après Hodel et al., 2021

Hominoïdes			
Hylobatidés	Hominoïdés		
	Pongidés	Hominidés	
		Homininés	Gorillinés
Gibbon Siamang	Orang- outan	Humain, Bonobo, Chimpanzé	Gorille



Exemples d'activités possibles



- Essayer, avec une installation adéquate (Monkey bar ou échelle horizontale), la locomotion par brachiation.
- Marcher à la manière de différents Hominoïdes.
- Découvrir les modes de vie, les langues et les richesses des pays où vivent les Hominoïdes actuels.
- Observer et identifier, à l'aide d'une clé ou d'une application, quelques poacées (graminées) à proximité.
- Discuter l'importance du courant circumpolaire antarctique (cf. carte circulation océanique globale surface et profondeur).
- Illustrer l'impact de la fermeture de l'isthme de Panama sur la biodiversité.

15

18 m

16

7 m

17



LIGNÉE HUMAINE BUISSONNANTE

-7 millions années à l'actuel

Cénozoïque

Tertiaire Néogène à
Quaternaire

23:59:37

100 %

≈ 12°C

- Découvrir la biodiversité humaine passée.
- Appréhender des processus évolutifs.
- Argumenter le caractère buissonnant de la lignée humaine.



La lignée humaine comprend tous les groupes d'êtres vivants descendants du dernier ancêtre commun des humains avec son plus proche parent, le chimpanzé. Cette évolution est buissonnante dans le sens où plusieurs genres et espèces d'Hominines ont coexisté et ont évolué parallèlement : l'histoire qui a mené de cet ancêtre commun à l'humain moderne n'est pas linéaire, pas orientée.

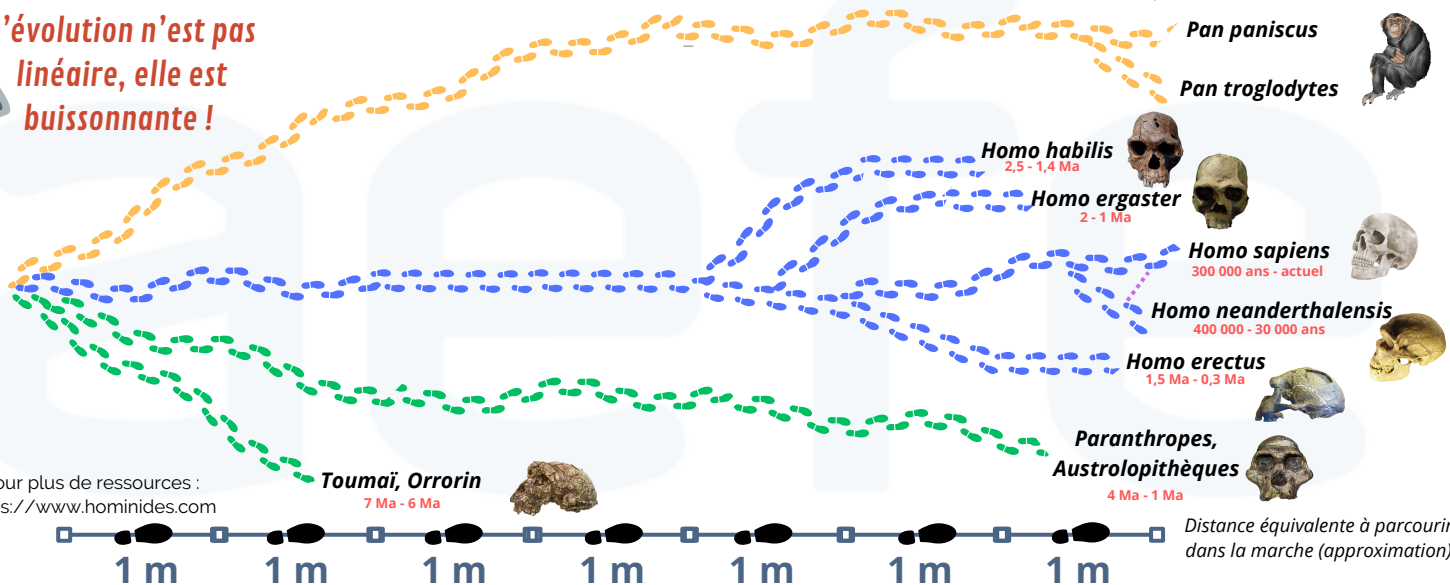
-7 Ma

-4 Ma

Actuel

L'évolution n'est pas
linéaire, elle est
buissonnante !

Pour plus de ressources :
<https://www.hominides.com>



Il y a plus de 8 Ma, la lignée humaine, caractérisée par le développement de la bipédie, se diversifie. Le genre *Homo* apparaît il y a environ 2,5 Ma, poursuivant cette diversification et colonisant divers continents tout en développant des compétences complexes comme le langage et la fabrication d'outils. *Homo sapiens*, apparu en Afrique il y a 300 000 ans, se répand mondialement et s'hybride avec d'autres espèces comme les néandertaliens. L'histoire évolutive est reconstituée par l'étude délicate des fossiles et, plus récemment, par les techniques de génétique moléculaire.

La lignée humaine a connu de nombreuses extinctions. *Homo sapiens* est désormais le dernier représentant de cette lignée mais ne reste qu'une espèce parmi les autres, toutes résultant d'un long processus évolutif.

Éléments pour la fin de la marche.

- 200 ans : La grande accélération. (révolution industrielle, explosion démographique, fossiles...)
- 10 000 ans : Néolithique : Agriculture, sédentarisation
- 39 000 ans : Extinction des Neanderthal
- 100 000 ans : De l'Afrique vers le reste du monde
- 300 000 ans : *Homo sapiens* : Langage, Art, armes
- 400 000 ans : Découverte du feu
- 500 000 ans : *Homo erectus* : Armes, vêtement, abris

1 cm = 10 000 ans
10 cm = 100 000 ans

Exemples d'activités possibles



- Tracer la lignée buissonnante au sol (voir illustration) et faire marcher le public le long de ses branches. Des petits groupes d'élèves incarnent une espèce de la lignée (pour illustrer les hybridations il est possible de faire se toucher les mains entre 2 lignées). Possibilité d'utiliser des crânes ou autres objets pour illustrer chaque espèce.
- Proposer une timeline avec images à replacer le long d'une frise (découverte feu, art, langage, agriculture, rituels...).
- Débattre sur "le propre de l'Homme".
- Discuter de la place du plausible et de l'imaginaire dans le film "2001, l'Odyssée de l'espace" (ou autre).
- Argumenter la place de l'Homme de Florès dans la lignée humaine à partir d'indices.

16

7 m

17

?

18



AUJOURD'HUI

Actuel

Cénozoïque - Quaternaire



24:00

100 %



- Identifier les enjeux du réchauffement climatique global.
- Exploiter les méthodes d'études, d'évaluation et de synthèse du GIEC.
- Montrer la complémentarité entre atténuation et adaptation, entre démarche individuelle et démarche collective, et entre politiques nationales et internationales, pour faire face au réchauffement climatique.

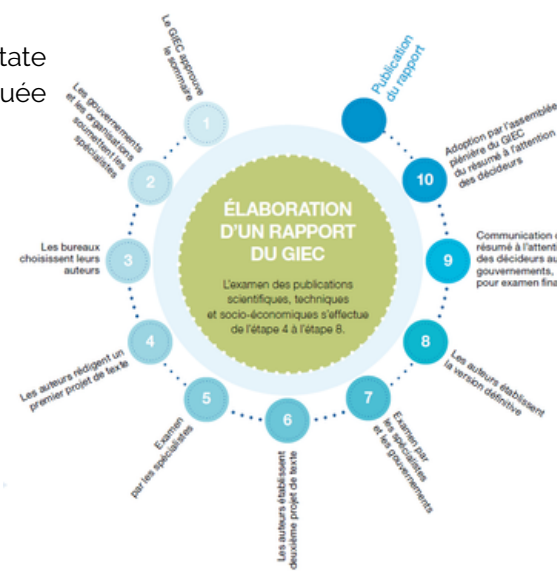
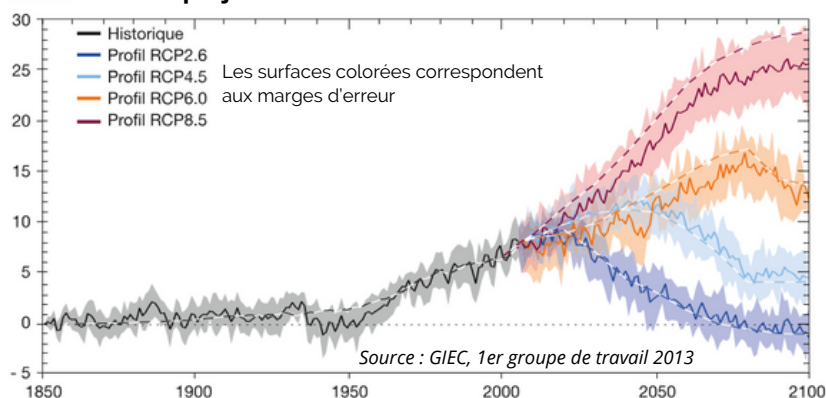
≈ 15°C



Les gaz à effet de serre (GES) ont un rôle essentiel dans la régulation du climat. Sans eux, la température moyenne sur Terre serait de -18 °C au lieu de +15 °C et la vie n'existerait peut-être pas. Toutefois, depuis le XIXe siècle, les humains ont considérablement accru la quantité de GES présents dans l'atmosphère. L'équilibre climatique naturel est modifié. On constate un réchauffement global de la surface terrestre.

Le GIEC* : Dans son 6e rapport d'évaluation publié en 2023, le GIEC constate notamment que la hausse de la température globale s'est encore accentuée et que la vulnérabilité des écosystèmes et des populations s'accroît.

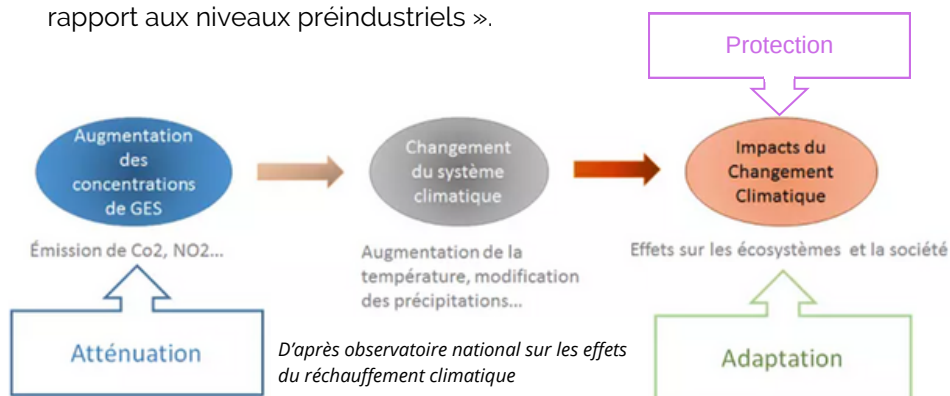
En GtC **Les projections du GIEC selon différents scénarios.**



Les étapes de la rédaction d'un rapport du GIEC.

Source : Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires

À l'issue des accords de Paris, le 12 décembre 2015, les pays signataires de la Convention-cadre des Nations unies sur le changement climatique se sont donnés pour objectif « d'atténuer l'élévation de la température à 1,5 °C par rapport aux niveaux préindustriels ».



Compte tenu de l'inertie climatique et de la grande durée de vie des GES accumulés dans l'atmosphère, l'augmentation des températures est inévitable. L'adaptation au changement climatique est donc nécessaire pour en limiter les conséquences sur les activités socio-économiques et sur la nature.

*GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

Exemples d'activités possibles



- Jouer avec un jeu de plateau "Objectif Durable" ou Quizz "Mieux comprendre les ODD" : <https://edd.ac-rennes.fr/spip.php?article50>.
- Débattre sur "L'Anthropocène est-il une ère géologique ?" ou "Peut-on éviter la 6ème extinction ?".
- Ecouter "4 degrees" d'Anohni,
- Analyser des passages d' "une vérité qui dérange" (An inconvenient truth) de 2006
- Faire reconstituer au public un puzzle des bandes du réchauffement climatique (Warming stripes).



17

?

18



DANS LE FUTUR

Futur +/- proche

Cénozoïque

Quaternaire
(Anthropocène ?)

J+ ?

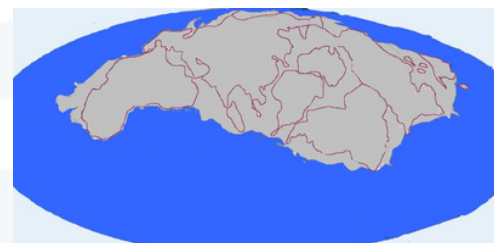
- Comprendre que l'évolution de la Terre dépend de nombreux facteurs internes et externes..
- Prendre conscience de la difficulté de prédire l'avenir de la planète.
- Réaliser que les activités humaines influencent l'avenir proche de la planète.

 $\Delta ? \%$
 $\Delta ? ^\circ\text{C}$

En plus des phénomènes géologiques, tous les êtres vivants - notamment les humains - participent à l'évolution de la Terre en utilisant ses ressources et en impactant son climat. Mais à quoi ressemblera la planète dans des millions d'années ?

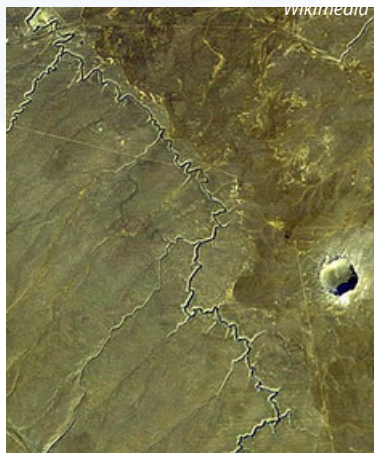
Des processus géologiques actuels et futurs.

La tectonique des plaques continuera tant que la convection transmettra la chaleur du manteau terrestre. Un nouveau supercontinent est attendu dans 250 à 500 Ma. D'ici là, des chaînes de montagnes s'éroderont et des plaques lithosphériques se scinderont, comme à l'est de l'Afrique. Des activités sismiques et volcaniques majeures surviendront et modifieront la Terre. Des éruptions importantes, comme celles des Trapps du Deccan, pourraient entraîner des variations climatiques majeures et des extinctions massives.



Supercontinent possible dans 250 Ma.

J Pelé d'après NewScientist.com news service,
Caroline illiams - Ted Nield



Vue aérienne de Meteor crater (Arizona) d'environ 1,2 km de diamètre.

Nasa by the Landsat satellite

Des événements cataclysmiques possibles.

Un impact d'astéroïde majeur, bien que rare (environ tous les 45 Ma), pourrait provoquer des bouleversements géologiques importants, comme des cratères massifs, des tremblements de terre, des tsunamis, et un hiver d'impact. Les effets à long terme toucheraient la géologie et la vie sur Terre.

Une inversion ou un affaiblissement prolongé du champ magnétique terrestre pourrait exposer la surface à des radiations accrues affectant les êtres vivants.

Plus les projections dans le futur sont éloignées du présent et plus il est difficile d'imaginer ce que sera le visage de la Terre. Il reste cependant évident que les êtres vivants subiront des pressions de sélection, d'autant plus fortes que les changements seront rapides.

Comme par le passé, l'évolution de la vie et l'évolution de la Terre seront donc intimement liées à l'avenir.

Exemples d'activités possibles



- Utiliser <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool> pour illustrer l'élévation du niveau marin pour les 125 prochaines années en fonction des différents scénarios utilisés pour le 6e rapport d'évaluation du GIEC (AR6).
- Réfléchir sur les notions de réfugiés / déplacés climatiques.
- Imaginer la ville du futur : maquette, images générées par l'IA, solutions techniques pour relever les défis urbanistes.
- Avoir une approche philosophique sur les valeurs de l'humanité et la place des humains dans le monde de demain.
- Critiquer un extrait du film "le jour d'après", du roman de Pierre Boulle et/ou du film "la planète des singes".
- Se projeter dans un avenir hors de la Terre : à la conquête de Mars.
- Imaginer l'impact de la découverte d'une vie extraterrestre pour les Terriens.
- Réfléchir : quel modèle économique pour le monde de demain ? Comment nourrir l'humanité ?
- Présenter des illustrations des écosystèmes et de la position des continents possibles dans le futur (génération par l'IA).
- Finir en écoutant le titre : "ça va beaucoup trop vite" de Bigflo et Oli (regarder/analyser le clip généré en IA avec les paroles).

17

?

18
BIS

MÉTIERES DU FUTUR EN GÉOSCIENCES

Futur +/- proche

Cénozoïque

Quaternaire
(Anthropocène ?)

J+ ?

- Découvrir les métiers du futur en lien avec les géosciences.
- Trouver les liens entre les géosciences et la protection environnementale.
- Se projeter dans la recherche d'un métier.

 $\Delta ? \%$
 $\Delta ? ^\circ\text{C}$

Géochimiste environnemental

-> Géologue et chimiste qui étudie la distribution des éléments chimiques dans l'environnement pour évaluer les impacts des activités humaines et développer des stratégies de remédiation.



Géologue spécialisé.e en géo-ingénierie

-> Géologue travaillant sur des projets visant à gérer et restaurer les écosystèmes naturels, notamment en utilisant des techniques de génie écologique.



Hydrogéologue des eaux souterraines

-> Géologue spécialisé.e dans l'étude et la gestion des ressources en eau souterraine, crucial pour l'approvisionnement en eau potable et la gestion des impacts environnementaux.



Aquifère Guarani (Am. du Sud), un des plus grands aquifères de la planète.

Gestionnaire des risques naturels

-> Analyse et évalue les risques liés aux phénomènes naturels tels que les tremblements de terre, les glissements de terrain et les éruptions volcaniques, pour minimiser leur impact sur les populations.



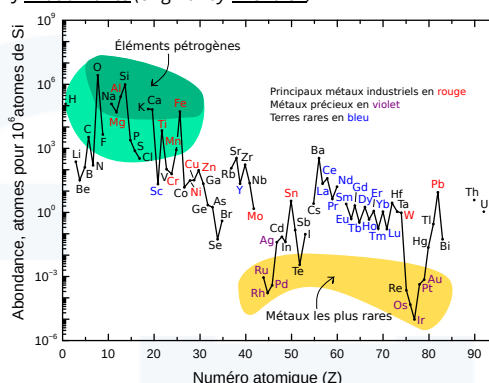
Expert.e en géo-informatique

-> Géomaticien.ne qui développe et utilise des outils informatiques avancés pour modéliser et analyser les données géospatiales en lien avec l'environnement et les besoins humains.



Abondance des éléments dans la croûte terrestre supérieure en fonction de leur numéro atomique.

J Rhadamante (original by Michbich)



Collecte d'un échantillon de lave du Kilauea (Hawaii) pour analyses chimiques.

Volcano Observatory, USGS

Autres idées :

- Spécialiste en cartographie environnementale
- Géophysicien.ne des ressources renouvelables
- Géotechnicien.ne du changement climatique

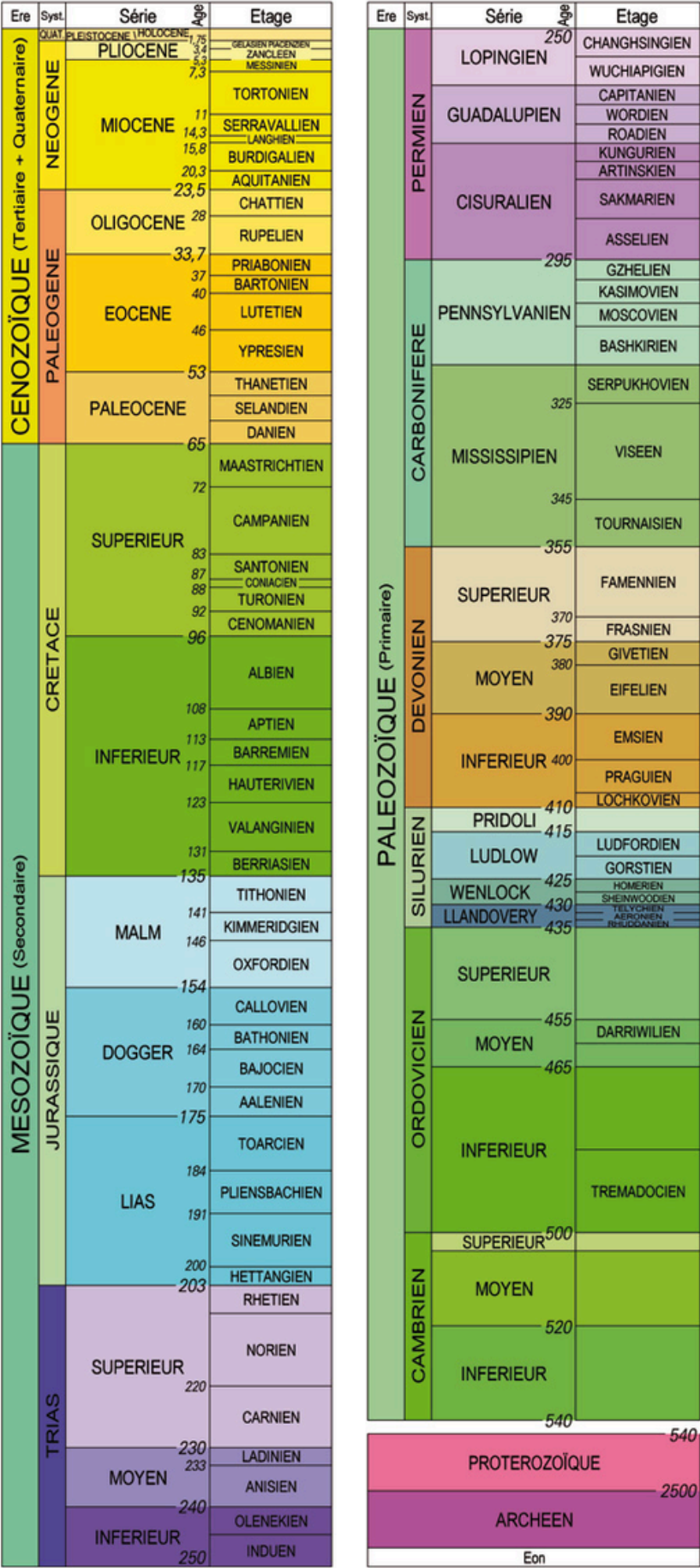
Exemples d'activités possibles



- Présenter des recherches sur ce type de métiers.
- Diffuser des témoignages audio décrivant ces métiers (ou extraits de podcast).
- Faire intervenir des professionnels pour témoigner.
- Réaliser un quiz sur ces métiers.
- Faire réfléchir les élèves à l'invention d'un métier qui leur paraîtrait utile à l'avenir (vérifier ensuite s'il existe déjà).



Échelle des temps géologiques



Crédits

Ce livret est le fruit d'un travail collectif de plusieurs enseignants formateurs de Sciences de la Vie et de la Terre de l'AEFE :

Thomas Anquez
Ryem Boudjemaï
Bérénice Corlay
Rémy Eudeline
Diana Klein
Nicolas Louisot
Jérémie Pelé
Sophie Roy
Christophe Stor

Sous le pilotage de
Sabine Bobée, IA-IPR de SVT à l'AEFE

Les pilotes et concepteurs remercient les auteurs du dossier les ayant inspiré ;

Jean-Matthieu Cousin (CEEBIOS)
Ange Ansour (Savanturiers)
Antoine Maldonado (Profs en transition)

et toutes les relecteurs et relectrices pour leur œil aiguisé et bienveillant !

Conception graphique ; Nicolas Louisot



L'utilisation de cet outil est régie par une licence CC BY-NC-SA

