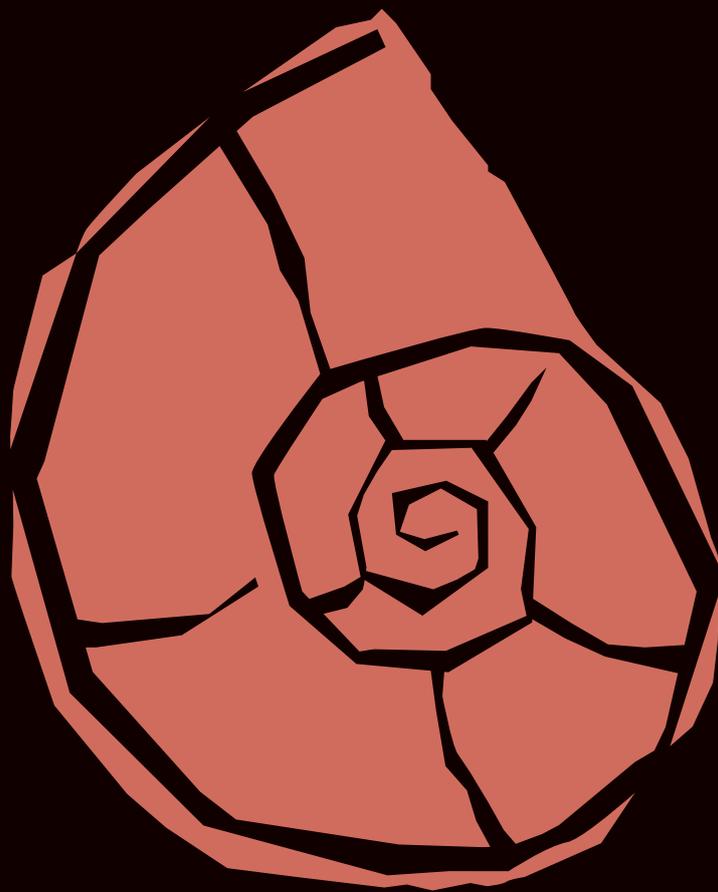


PALEOSPACE

La Normandie Jurassique



CAHIER PEDAGOGIQUE

LE TEMPS GÉOLOGIQUE

DES FALAISES DES VACHES NOIRES

Les falaises des Vaches Noires

INFOS

Ce cahier pédagogique est un outil de travail à destination des enseignants édité par le Paléospace de Villers sur mer. Il permet de préparer en amont votre visite au sein du musée.

Nos médiateurs ont rédigé trois cahiers pédagogiques du Paléospace qui se déclinent autour des trois thèmes abordés dans le musée :

- **Les falaises des Vaches Noires**
- **Le méridien de Greenwich**
- **Le Marais littoral de Blonville-Villers**

LE SITE

Les falaises des Vaches Noires constituent un site unique en Normandie. Hautes de 100 mètres, elles s'étendent le long de la côte sur près de 5 km entre les communes de Villers-sur-Mer et de Houlgate. Les Vaches Noires forment un paysage étrange, presque lunaire, où les pics, arrêtes vives et cheminées de fées sont entaillés de profonds ravins empruntés par des coulées de boues. Ces dernières ont ramené sur la plage d'énormes blocs de calcaire provenant du haut de la falaise, noircis au cours du temps par les algues et les moules. On raconte que le nom des falaises provient de ces immenses cailloux erratiques qui, vus de la mer par les pêcheurs, ressemblent à des vaches paissant sur la plage.

Les différentes roches constituant ces falaises (marnes, calcaires et craies) se sont formées au cours du Jurassique (étages du Callovien et de l'Oxfordien) puis durant le Crétacé (étage du Cénomaniens). Elles contiennent de très nombreux fossiles d'organismes marins. Ce lieu d'une très grande richesse fossilifère est un des sites de référence pour l'étude des faunes du Jurassique Inférieur et Moyen, il est connu mondialement par les paléontologues, les géologues et les amateurs.

Les falaises sont accessibles à marée basse depuis la plage de Villers-sur-Mer. Leur découverte ne peut se faire qu'à partir de la plage, sans grimper sur les falaises même. Vous trouverez sur la plage le meilleur point de vue sur les falaises car elle permet d'avoir le recul physique nécessaire pour comprendre le site dans son ensemble. De plus, les coulées de boue issues des falaises ramènent de nombreux fossiles sur la grève qui sont alors lavés de leur gangue marneuse par la mer. Une simple promenade sur la plage suffit pour découvrir des huitres et des moules fossiles en bien plus grande quantité et qualité que ce que l'on peut trouver dans les falaises elles-mêmes.

Il faut savoir qu'un arrêté municipal interdit l'accès aux falaises afin de protéger la faune et la flore actuelles qui ont colonisé les falaises.

Les falaises des Vaches Noires sont extrêmement riches en fossiles. Les plus observateurs et les plus chanceux pourront ramasser ammonites, oursins, coraux, éponges, voire des restes de reptiles marins... ou de dinosaures !





LES FALAISES DES VACHES NOIRES ET LE PALÉOSPACE

Le musée permet l'interprétation du site des Vaches Noires. Les élèves pourront découvrir les fossiles des Vaches Noires des plus courants aux plus spectaculaires, toucher les roches et les fossiles grâce aux bacs et aux bornes tactiles, utiliser les multimédias pour prolonger leur visite, découvrir le métier de paléontologue grâce à des interviews, se plonger dans la mer du Jurassique, etc. Leur parcours favorise les découvertes multisensorielles et ludiques.

Le parcours muséographique donne aux élèves des clefs pour comprendre la géologie et la paléontologie : qu'est-ce qu'un fossile ? Une échelle géologique ? Quels sont les liens de parenté entre les fossiles ? Il permet également de découvrir la spécificité des faunes des Vaches Noires : les ammonites, les crocodiliens marins, les plésiosaures, ichthyosaures, pliosaures, les dinosaures. La visite est aussi l'occasion de comprendre le travail du paléontologue : récolter, identifier, nommer, reconstituer, interpréter;

autant d'étapes, *a priori* mystérieuses, qui se révèlent être au cœur d'une démarche scientifique rigoureuse. Les élèves découvrent alors que cette science est en perpétuel mouvement : ce que l'on pensait autrefois de la filiation des crocodiliens des Vaches Noires est-il encore valable ? Comment Cuvier, père de la paléontologie des vertébrés, interprétait-il les crânes de crocodiliens des Vaches Noires ? Comment Geoffroy Saint-Hilaire, son contemporain, arrivait-il à des conclusions si différentes en étudiant les mêmes crânes ?



Intérêts pédagogiques

L'étude des falaises des Vaches Noires permet d'aborder concrètement des notions de géologie, de paléontologie, de biologie incluses dans les programmes scolaires. Mais il permet également d'intéresser les élèves par de nouveaux biais à l'Histoire et à la géographie, à la notion de

patrimoine local et de patrimoine universel, à l'épistémologie et à l'Histoire des sciences.

Les liens avec les programmes scolaires sont riches et nombreux :

Programmes scolaires		Exemples de traitements pédagogiques du site des Vaches Noires appliqués aux programmes scolaires
Thèmes	Sous-thèmes	
Cycle 2		
Découverte du monde Se repérer dans l'espace et le temps.	Utiliser des outils de repérage et de mesure du temps : calendrier, horloge.	Replacer l'Histoire de la vie par rapport à l'Histoire humaine. Comparer la mesure du temps humain (heures, jours) avec les temps paléontologiques.
	Découverte du monde Découvrir le monde du vivant.	Nutrition et régimes alimentaires des animaux. Comprendre les interactions entre les êtres vivants et leur environnement.
Cycle 3		
Sciences expérimentales et technologie	La matière : le trajet de l'eau dans la nature.	Comprendre le trajet de l'eau dans le sous-sol du pays d'auge grâce à la coupe naturelle des Vaches Noires.
	L'unité et la diversité du vivant : présentation de la biodiversité	Montrer la paléodiversité de la faune des Vaches Noires et la comparer avec un écosystème marin actuel.
	Présentation de l'unité du vivant : recherche des points communs entre espèces vivantes.	Comparer les groupes fossiles des Vaches Noires avec leurs homologues actuels.
	Présentation de la classification du vivant : interprétation de ressemblances et de différences en termes de parenté.	Classer les groupes fossiles des Vaches Noires.
	Les êtres vivants dans leur environnement : adaptation des êtres vivants aux conditions du milieu, notion de chaîne alimentaire.	Montrer l'adaptation à la vie aquatique grâce aux fossiles provenant des Vaches Noires (notion de convergence).
Histoire et géographie	Des réalités géographiques locales à la région où vivent les élèves.	Découvrir un site patrimonial local.



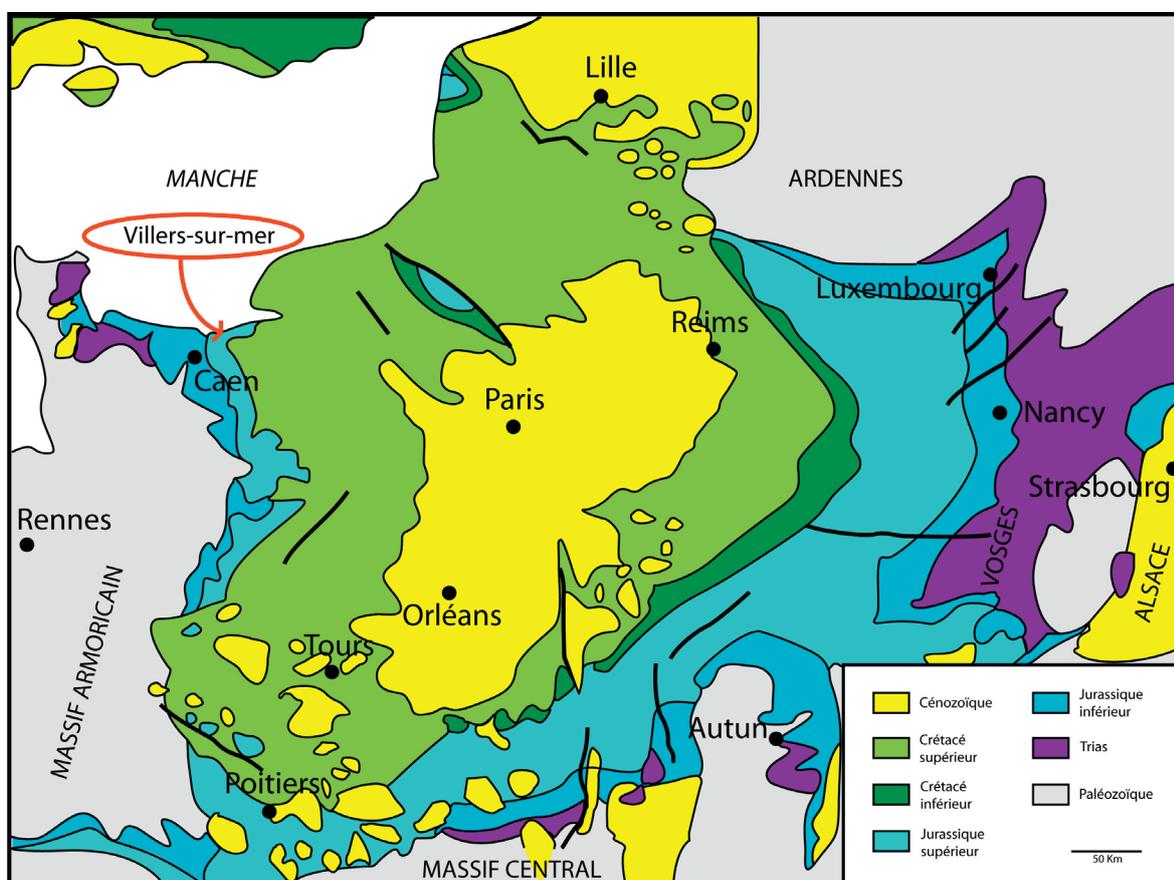
Programmes scolaires		Exemples de traitements pédagogiques du site des Vaches Noires appliqués aux programmes scolaires
Thèmes	Sous-thèmes	
6 ^{ème}		
Sciences de la Vie et de la Terre	Diversité, parenté et unité des êtres vivants.	Utiliser la faune jurassique pour montrer la parenté et l'unité des êtres vivants avec ceux d'aujourd'hui. Comparer la diversité des faunes du passé avec celles d'aujourd'hui.
5 ^{ème}		
Sciences de la Vie et de la Terre	Géologie externe : évolution des paysages.	Montrer le principe d'érosion et d'évolution de la morphologie des Vaches Noires depuis la sédimentation jusqu'à aujourd'hui.
4 ^{ème}		
Sciences de la Vie et de la Terre	Evolution des organismes vivants et histoire de la Terre.	Replacer l'exemple concret des Vaches Noires et des autres sites normands dans l'Histoire de la Terre et de la Vie.
2 nd générale		
Sciences de la Vie et de la Terre	Parenté et diversité des organismes.	Comparer parenté et diversité des faunes actuelles et passées.
2 nd générale		
Sciences de la Vie et de la Terre	Parenté entre êtres vivants actuels et fossiles – phylogénèse - évolution.	Retracer la phylogénèse des taxons fossiles et des taxons actuels.
	La mesure du temps dans l'Histoire de la Terre et de la Vie.	Expliquer les principes de la biostratigraphie, de la lithostratigraphie et de la datation absolue avec l'exemple des Vaches Noires.
	Couplage des événements biologiques et géologiques au cours du temps.	Expliquer les grandes extinctions de l'histoire de la vie.
	Du passé géologique à l'évolution future de la planète (variation du climat et variation du niveau de la mer).	Eustatisme et paléoclimatologie du Jurassique grâce à l'étude des Vaches Noires.

La géologie des falaises des Vaches Noires

Les Vaches Noires et la géologie normande

Les falaises des Vaches Noires constituent une coupe naturelle d'une plus vaste entité géologique : le bassin anglo-parisien. Ce dernier est délimité par des massifs montagneux (Vosges, Massif Armoricain, Massif central) et s'est formé par l'accumulation de sédiments marins depuis le Trias (env. 250 Ma) jusqu'à l'Oligocène (env. 30 Ma). Cette accumulation de sédiments s'est accompagnée d'une subsidence (enfoncement naturel progressif) qui donne à l'accumulation des couches géologiques cette forme en assiette.

La Normandie est située sur la bordure occidentale du bassin. Ainsi, en longeant la côte normande du Bessin vers le pays de Caux, il est possible d'y voir des affleurements géologiques allant du Jurassique inférieur (vers Port-en-Bessin) jusqu'au Crétacé supérieur (vers Etretat). Les Vaches Noires se situent à mi-chemin de ces deux villes permettant de dévoiler des terrains allant du Callovien (Jurassique moyen) à l'Oxfordien (Jurassique supérieur) mais aussi du Cénomaniens (Crétacé supérieur).



Modifié d'après <http://www.mnhn.fr>
D'après la synthèse géologique du Bassin de Paris (1980) et la carte géologique de France au 1/1 000 000 ème (6ème ed., 1996)



1

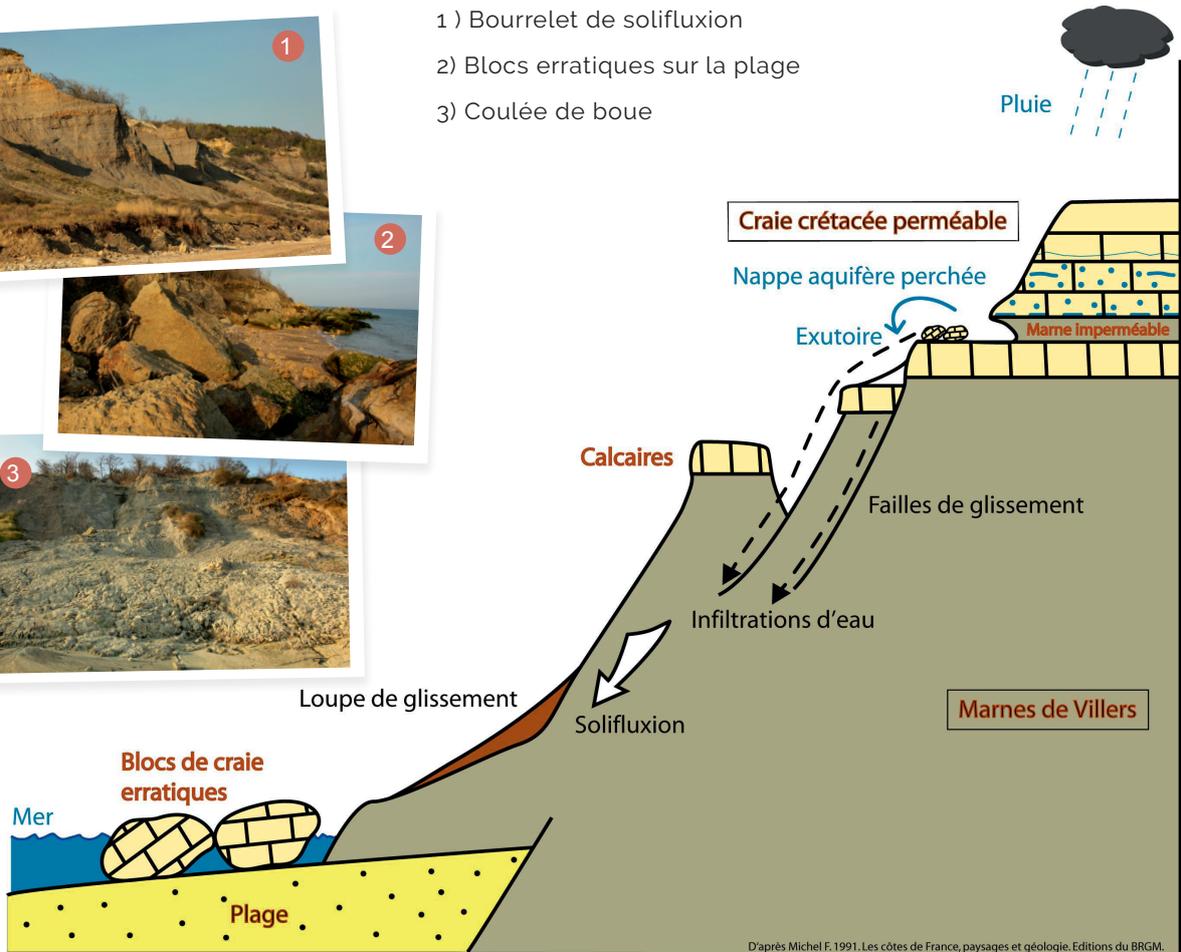


2



3

- 1) Bourrelet de solifluxion
- 2) Blocs erratiques sur la plage
- 3) Coulée de boue



L'érosion des falaises

La forme si particulière des falaises des Vaches Noires avec leurs pics et leurs ravins est liée à leur mode d'érosion.

Contrairement aux falaises du pays de Caux, la mer à un rôle peu important dans l'érosion des Vaches Noires. Pour ces dernières, le facteur principal d'érosion est l'eau de l'aquifère de la craie. La craie est une roche perméable recouvrant une roche imperméable, la marne ; il se forme donc un aquifère (réserve d'eau sous-terrain située dans les pores de la roche) perché au sommet de la falaise. Au niveau de la falaise, il se crée un exutoire pour cette eau qui ressort entre la craie et les marnes, dissolvant par la même occasion la craie et sapant donc cette formation. De gros blocs de craie s'écroulent régulièrement

et forment sur le replat de la falaise une zone appelée « le chaos ».

L'eau libérée se mélange aux marnes formant des coulées de boues qui emmènent sur leur passage blocs de craie et roches de tous les niveaux de la falaise (phénomène de solifluxion). Ces coulées glissent sur la plage et forment ainsi un haut bourrelet de marnes et de débris en tout genre. Lors de la marée haute, la mer vient lécher cette terrasse, lave les marnes et laisse sur la plage les roches plus indurées et les fossiles contenus dans les différentes couches.

Lors de la marée basse, les roches présentes sur la plage témoignent de ce travail continu de l'érosion. Les roches les plus éloignées de la plage nous donnent une indication sur le recul de la falaise au cours du temps. Il est estimé que la falaise recule d'environ un mètre tous les trois ans.

La coupe des falaises

Vue de la plage, 3 ensembles morphologiques se distinguent sur les falaises des Vaches Noires :

- En bas de la falaise, léché par la mer, un bourrelet de sédiments marneux et de blocs calcaires de toutes tailles s'étale sur la plage. Il résulte de l'érosion de la falaise et est formé par les coulées de boue qui dévalent la falaise en mélangeant toutes les couches géologiques qui la forment.

- La plus grande partie de la falaise est formée de marnes et de passages marno-calcaires d'âge Jurassique. Cette falaise est entaillée de ravins au fond desquels s'écoulent les coulées de boue.

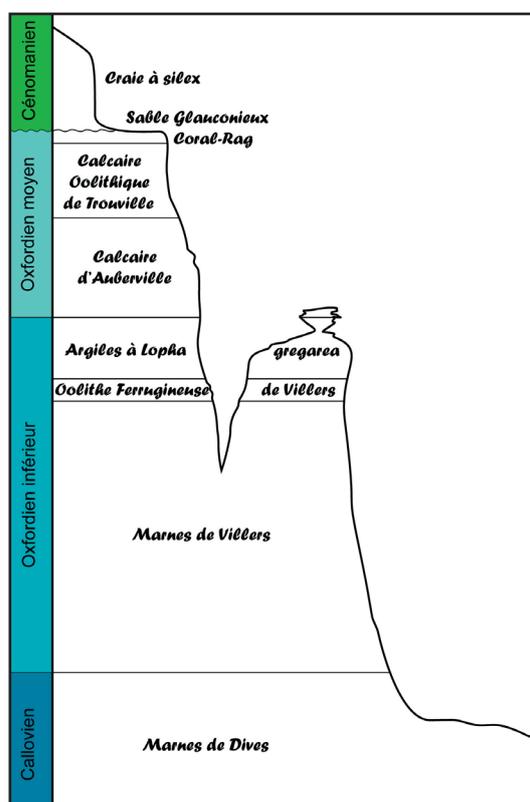
- La falaise marneuse est recouverte par des calcaires jurassiques, puis par des craies crétacées. Ces dernières sont situées en retrait de la falaise. Ce retrait forme un replat plus ou moins large appelé « le chaos » où de gros blocs de craies détachés de la falaise côtoient une végétation abondante. Ce sont ces blocs qui seront entraînés dans les coulées de boues et se retrouveront sur le bas de la plage. Le retrait et les plantes masquent en grande partie la falaise crayeuse, celle-ci est donc peu visible depuis la plage.

Une coupe synthétique de la falaise montre que celle-ci est composée de 9 couches géologiques qui se distinguent par leur lithologie.

Les 7 couches les plus anciennes révèlent une sédimentation continue depuis le Callovien supérieur (env. 162 millions d'années – Ma) jusqu'à l'Oxfordien moyen (env. 158 Ma). Les couches de l'Oxfordien sont surmontées par une couche cénomaniennne contenant des roches albiennes remaniées (env. 100 Ma).

Les couches des falaises des Vaches Noires des plus anciennes vers les plus récentes sont les suivantes :

- Marnes de Dives (Callovien supérieur, Jurassique moyen ou Dogger)
- Marnes de Villers (Oxfordien inférieur, Jurassique supérieur ou Malm)
- Oolithe Ferrugineuse de Villers (Oxfordien inférieur, Malm)
- Argiles à Lophogregarea (Oxfordien inférieur, Malm)
- Calcaire d'Auberville (Oxfordien moyen, Malm)
- Calcaire oolithique de Trouville (Oxfordien moyen, Malm)
- Coral-Rag (Oxfordien moyen, Malm)
- Sable Glauconieux
- Craie à silex



- Coral-Rag (Oxfordien moyen, Malm)

Les variations de dépôts sur cette portion de la falaise témoignent du passage d'une mer relativement profonde avec des courants froids venant du Nord à une plate-forme carbonatée peu profonde, parfois proche de l'émersion et avec des influences marines plus chaudes venant du sud.

Ces changements sont principalement dus à des variations de taux de subsidence

(mouvement d'affaissement du socle sur lequel se déposent les sédiments).

Une discordance se trouve au-dessus du Coral-Rag (Jurassique moyen). En effet, le terrain sus-jacent est une craie d'âge Crétacé supérieur, il n'y a donc pas de continuité stratigraphique entre ces deux roches, cette lacune de plus de 55 Ma est appelée hiatus, caractérisé par une surface d'érosion, la discordance.

Elle s'explique probablement par une émergence de la région à cette époque : aucun sédiment marin n'a alors pu s'y déposer.

Les terrains crétacés situés au-dessus du hiatus sont les suivants :

- Sable glauconieux et craie glauconieuse (Albien supérieur et Cénomaniens inférieur, Crétacé Inférieur-supérieur)
- Craie à silex (Cénomaniens moyen, Crétacé supérieur)

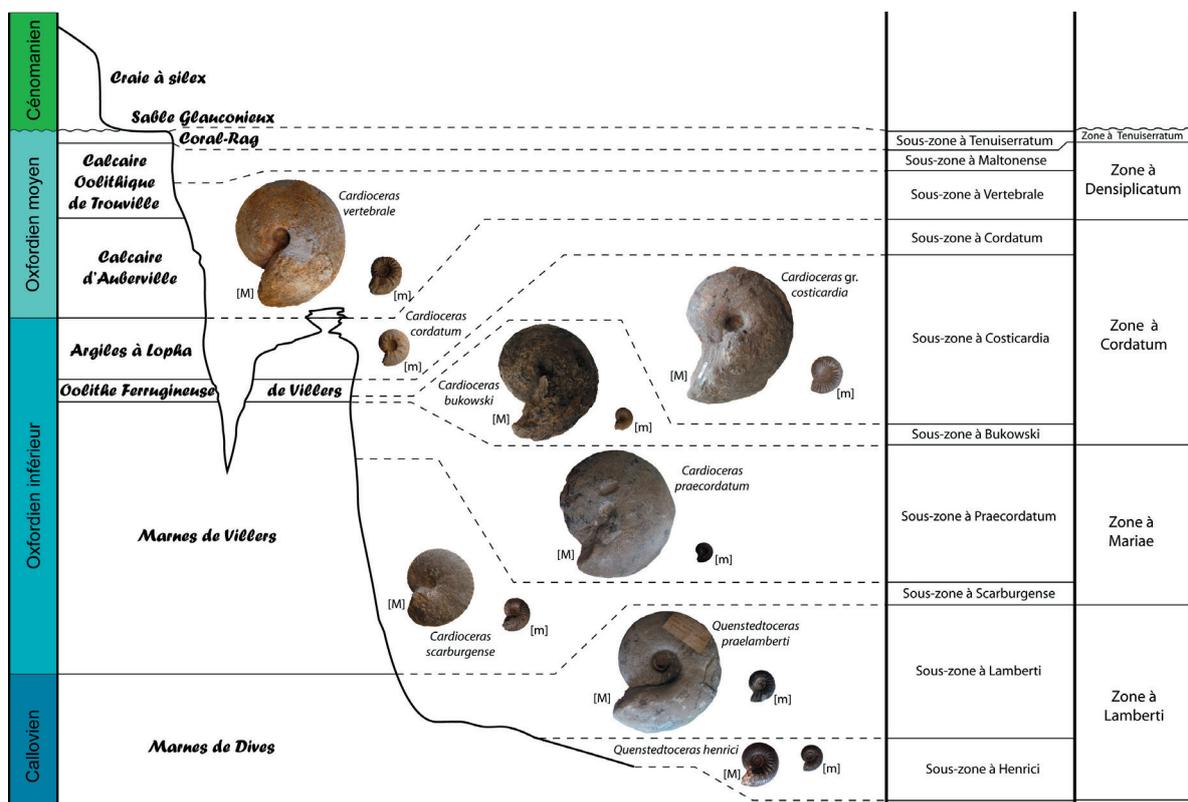
La biostratigraphie

La biostratigraphie est une méthode de datation relative des terrains sédimentaires utilisant certains groupes de fossiles notamment les ammonites ou encore

les foraminifères. Ces groupes fossiles ont en effet la particularité d'évoluer très rapidement : la position stratigraphique d'une espèce par rapport à une autre permet donc de caractériser et de dater ces strates. Il est également important que les groupes fossiles utilisés comme marqueurs biostratigraphiques aient une répartition géographique la plus vaste possible afin de pouvoir dater des terrains éloignés les uns des autres. Il faut également que les fossiles appelés à devenir des marqueurs biostratigraphiques se trouvent en nombre suffisant au sein des couches sédimentaires.

La biostratigraphie prend naissance au milieu du XIX^e siècle avec les travaux d'Alcide d'Orbigny. Dès les années 1880, deux géologues Hébert et Douvillé vont utiliser les ammonites présentes dans les falaises des Vaches Noires pour proposer une zonation biostratigraphique des roches. Aujourd'hui la zonation établie à cette époque est toujours valide dans ses grandes lignes. Elle a été régulièrement amendée depuis.

La biostratigraphie du Callovien et de l'Oxfordien est basée sur l'évolution des ammonites de la famille des Cardiocératidés.

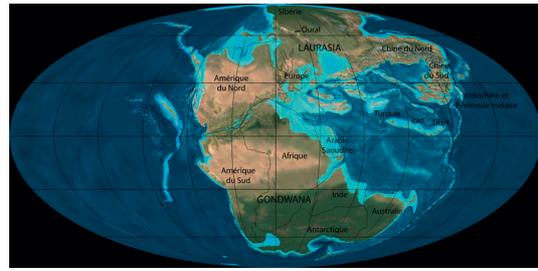


La paléogéographie

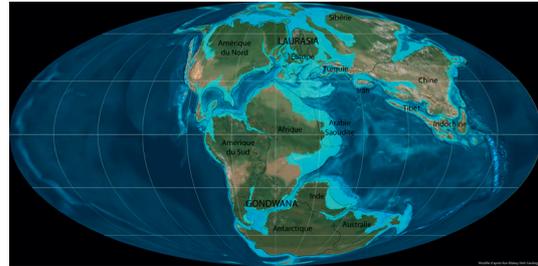
Au Trias (env. 250 Ma), un unique continent rassemblait l'ensemble des terres émergées. A partir du Jurassique, l'Océan Atlantique commence à se former. Au Callovien et à l'Oxfordien, un océan étroit sépare l'Amérique du Nord et l'Afrique. Cet océan va par la suite s'agrandir : il deviendra de plus en plus large, éloignant peu à peu les côtes nord-américaines et européennes; mais cet océan va également s'ouvrir ensuite plus au sud pour séparer l'Amérique du Sud de l'Afrique au cours du Crétacé.

L'Europe au Jurassique est recouverte par une vaste mer, les terres émergées forment un chapelet d'îles. Ainsi, l'actuelle Normandie est délimitée au sud-ouest par un massif émergé en pleine érosion : le Massif armoricain. Plus au Nord, une mer s'étend couvrant l'actuel Bassin anglo-parisien.

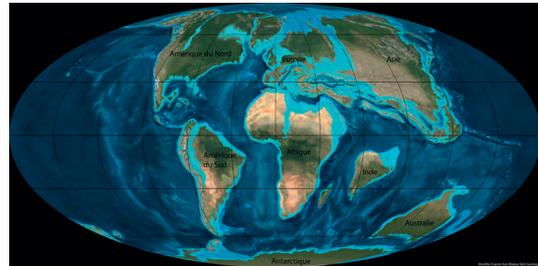
C'est dans ce contexte que se forment les dépôts constituant la majeure partie des falaises des Vaches Noires.



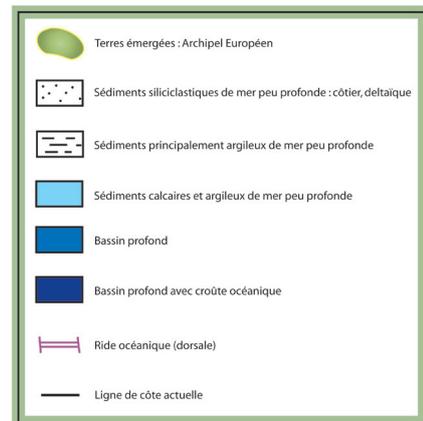
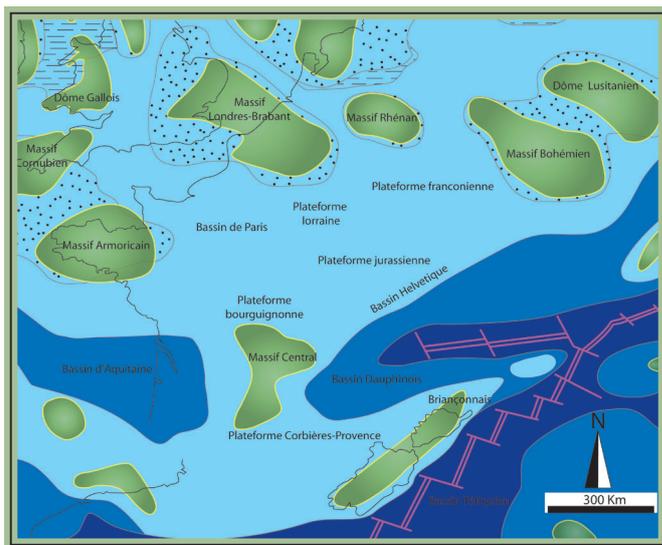
Carte Paléogéographique du Trias (-250 Ma)



Carte Paléogéographique du Jurassique (-150 Ma)



Carte Paléogéographique du Crétacé (-65 Ma)



Carte paléogéographique de l'Europe durant l'Oxfordien, environ 160 Ma.

La paléontologie et le site des falaises des Vaches Noires



La paléontologie, la fossilisation et les fossiles

La paléontologie est la science qui étudie les fossiles.

Un fossile est la trace, au sens large, d'un être vivant qui s'est conservée dans une roche sédimentaire. Il peut s'agir d'une trace de vie (empreintes de déplacement, terriers, déjections, etc.) ou le reste d'un être vivant (squelettes ou parties molles). Le plus couramment, c'est la partie la plus minéralisée de l'être vivant qui fossilise le mieux (dents, carapaces, coquilles, os). Toutefois le processus de fossilisation dépend de l'environnement dans lequel il se produit ; il existe donc autant de modes de fossilisation que de milieux de fossilisation !

La fossilisation est un phénomène rare car elle nécessite des conditions particulières. Ainsi, seule une très faible part de l'ensemble des êtres vivants d'une époque se fossilise ! Autrement dit, l'ensemble des fossiles que nous retrouvons aujourd'hui (taphocénose) n'est pas toujours représentatif de l'écosystème dont ils sont issus (paléobiocénose).

Dans les sédiments des Vaches Noires, le milieu était propice à la fossilisation, ce qui explique – en partie – la grande quantité de fossiles que l'on y trouve. Chez les animaux à coquille comme

les mollusques, les fossiles sont de différentes formes : la coquille en elle-même peut se fossiliser, ou l'animal ne laisse que l'empreinte de la coquille (moule externe ou empreinte) ou bien encore seul son moule interne est préservé (les sédiments ont rempli la coquille qui a été dissoute par la suite). Les Vertébrés sont connus par leurs squelettes fossilisés ou encore leurs dents fossilisés. Il existe aussi des fossiles de plantes : on trouve ainsi du bois fossile ainsi que des pollens fossiles (microscopiques et inclus dans les marnes, il faut donc être capable de lessiver les marnes efficacement – en brisant leur structure moléculaire par traitement chimique - pour pouvoir les tamiser et en extraire les pollens avant de pouvoir les observer au microscope).



Les fossiles des Vaches Noires

Le site des Vaches Noires est célèbre pour ses nombreux fossiles et les belles découvertes que tous peuvent réaliser en se baladant au pied des falaises.

Petit rappel : les falaises sont protégées, il est donc interdit d'aller ramasser des fossiles sur les falaises. Les fossiles sont beaucoup plus faciles à récolter sur la plage où leur ramassage est toléré. Une visite guidée du site avec nos médiateurs est le meilleur moyen de découvrir le gisement en toute sécurité et en tout confort !

Les fossiles dans les couches de la falaise

Les faunes fossiles ne sont pas identiques d'une strate à l'autre. En effet, d'une part, les couches n'ont pas le même âge et donc du fait de l'évolution, des espèces disparaissent et de nouvelles apparaissent. D'autre part, les environnements de dépôts de ces couches sont différents, il est donc logique d'y trouver des faunes différentes.

Les fossiles les plus communs ou les plus typiques des Vaches Noires :

- *Bilobissa dilatata* (Gryphaeidae, Bivalvia, Mollusca) - "huître" Gryphée
- *Actinostreon gregareum* (Ostreidae, Bivalvia, Mollusca) - "huître"
- *Myophorella hudlestoni* (Myophorellidae, Bivalvia, Mollusca) - Trigonie
- *Modiolus bipartitus* (Mytiloidea, Bivalvia, Mollusca) - "moule"
- *Isastrea sp.* (Isastreidae, Scleratinia, Cnidaria) - corail
- *Hallirhoa costata* (Demospongia, Porifera) - éponge
- *Quenstedtoceras lamberti* (Cardioceratidae, Ammonitida, Cephalopoda, Mollusca) - Ammonite
- *Paracenoceras sp.* (Nautilida, Cephalopoda, Mollusca) - Nautilite
- *Thurmanella sp.* (Brachiopoda) - rhynchonelle



Les vertébrés

De nombreux vertébrés marins ont laissé des traces fossiles dans ce gisement comme par exemple :

- **Des crocodyliens (*Metriorhynchus* et *Steneosaurus*)**
- **Des ichthyosaures (*Ophthalmosaurus*)**
- **Des plésiosaures (*Cryptocleidus*)**
- **Des pliosaures (*Liopleurodon*)**

Ces animaux ont tous un point en commun : il s'agit d'animaux dont les origines sont terrestres mais qui vivent tous dans la mer. Ainsi, leurs squelettes révèlent des adaptations plus ou moins fortes à la vie aquatique. Ces animaux n'ont pas de liens de parenté directs, ainsi leurs ressemblances sont, non pas héritées d'un parent, mais témoignent d'une adaptation à des conditions environnementales similaires. Ce phénomène s'appelle la convergence évolutive.

Les falaises des Vaches Noires ont également livré des fossiles de dinosaures.

Le mieux connu d'entre eux est *Streptospondylus altdorfensis*, un dinosaure carnivore (Théropode) de taille moyenne (environ 8 mètres de longueur).

C'est le premier dinosaure découvert (date de récolte 1770 !) mais il n'a été décrit qu'une trentaine d'années plus tard sous le nom... d'un crocodile par Georges Cuvier, le père de la paléontologie des vertébrés. Le terme même de dinosaure n'a été créé qu'en 1842 par l'anglais Richard Owen.

Que nous révèle la présence de dinosaures dans le gisement des Vaches Noires ? Les dinosaures sont des animaux strictement terrestres. Ils ont été trouvés dans un gisement où les sédiments se sont déposés au fond de la mer. De plus, tous

les autres fossiles trouvés dans ces sédiments (éponge, corail, oursin, etc.) prouvent encore l'origine marine de ces dépôts. La présence de dinosaures est donc incongrue ! Ils ne font pas partie de la faune marine qui vivait à cet endroit il y a environ 160 millions d'années. Leur présence indique l'existence de terres émergées relativement proches (appartenant au Massif Armoricaïn). Il est supposé que des cadavres de dinosaures provenant de ces terres auraient été amenés par un fleuve jusqu'à la mer pour venir se fossiliser à l'emplacement des falaises actuelles.

Ces conditions s'étant globalement maintenues durant la majeure partie du Mésozoïque sur cette frange du bassin parisien, de nombreux fossiles de dinosaures ont été découverts sur l'ensemble de la Normandie. Bien qu'ils soient généralement très incomplets, ces fossiles font preuve d'une grande diversité avec quatre grands groupes représentés (sauropodes, ornithopodes, des thyroéphores et de nombreux théropodes) et témoignent de l'évolution et des successions de ces animaux durant leurs 160 Ma de présence enregistrée en Normandie.





PALEOSPACE

La Normandie Jurassique

www.paleospace-villers.fr