

Histoire géologique de la falaise de la Mine d'Or (Pénestin)



Cher visiteur,
La falaise de la Mine d'Or attire votre attention, en particulier lorsque le soleil de fin d'après-midi dore de ses rayons les roches face à l'océan. Chaque jour, une symphonie de couleurs est jouée sur les variations de micaschiste, de sable, d'argile et de kaolin.

Aujourd'hui, nous vous invitons à découvrir l'histoire géologique de ce site exceptionnel.

Ce voyage extraordinaire durera plusieurs millions d'années. Depuis la création du Massif Armoricaïn jusqu'à nos jours, vous passerez au fil de la dérive des continents, des climats tropicaux aux glaciations, vous trouverez des fleuves majestueux, des paysages où la mer s'est retirée bien loin et bien d'autres choses encore...

Au cours de ce voyage, vous comprendrez ainsi toute la richesse de ce site, source d'émerveillement pour les Hommes depuis la nuit des temps.

Stéphane BONNET, Université de Rennes 1
David MENIER, Université de Bretagne Sud
<http://www.geosciences.univ-rennes1.fr>
<http://www.univ-ubs.fr>



Conception graphique Florent SCALLIET



HISTOIRE GEOLOGIQUE DE LA FALAISE DE LA
MINE D'OR



**A Pénestin, à la
recherche d'un fleuve
disparu...**



Il y a quelques millions d'années ...

LE PEUPELEMENT HUMAIN DE PENESTIN

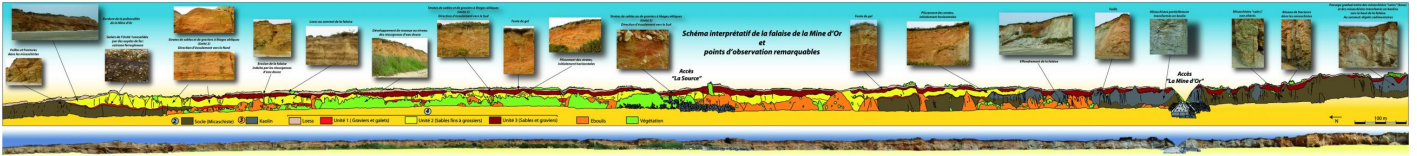
LES ROCHES DE LA MINE D'OR

A PENESTIN, LA MEMOIRE D'UN FLEUVE DISPARU

DES FLEUVES SOUS LA MER

DEFORMATION ACTIVE ET CLIMATS PASSES

DE L'OR ET DE L'EAU



Depuis toujours, Pénestin a attiré les Hommes



Biface du Paléolithique trouvé dans la falaise de la Mine d'Or
(collection Musée de Vannes fonds SPM)

Les études archéologiques montrent des traces d'occupation pré-humaines à Pénestin dès le **Paléolithique**, il y a plus de 300 000 ans ! Un outil taillé de type biface a en effet été trouvé dans la falaise de la Mine d'or en 1988. Les premières traces d'occupation de l'homme moderne (homo sapiens sapins) datent du **Néolithique**. Pour preuve, ces populations nous ont laissé plusieurs structures mégalithiques dont le menhir dit « La Pierre Blanche » situé à la pointe du Scal à Tréhiquier.



La pierre blanche, menhir, Tréhiquier

Plusieurs siècles avant notre ère, le territoire est déjà connu pour sa richesse en **étain**. Allié au cuivre, il permet en effet la production de bronze.

On raconte que les Phéniciens eux mêmes vinrent exploiter cette richesse. Mais les études récentes indiquent que, dès l'**Age du Bronze**, ce sont plutôt des populations locales qui tirèrent profit de ce précieux minerai en développant la technique des alliages.

Depuis de temps, le lieu fut désigné "**la pointe de l'étain**" : Pen Sten puis **Pénestin**

D'autres richesses naturelles ont été exploitées par les populations anciennes, et, notamment, l'eau de mer. Ainsi, plusieurs ateliers de production de sel sont connus sur la frange côtière de la commune. Ces sites, liés à une technologie spécifique, datent de la fin de l'**Age du Fer**, soit de l'époque gauloise. Certains de ces sites ont également livré d'importantes fosses à coquillages, ce qui témoigne de l'ancienneté de l'intérêt local pour cette ressource alimentaire fort gustative !

Des vestiges datant de la **période romaine** sont connus un peu partout sur le territoire de la commune. Au milieu du XIX siècle, de nombreuses pièces de monnaie datant du **Haut-empire** (1er au 3ème siècle après JC) ont été trouvées sur la plage.



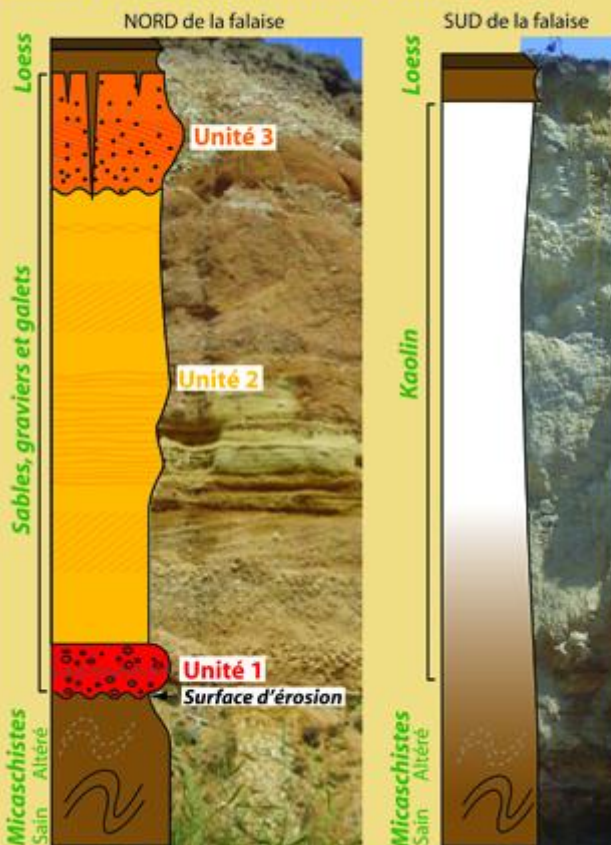
Paillettes d'or extraites du site de la Mine d'or, Pénestin

Plus près de nous, à la fin du XIXème siècle, le site de la Mine d'Or connut une exploitation brève des sables de la falaise afin d'y récolter les **paillettes d'or** qu'ils contiennent.

Cette activité peu rentable s'arrêta lors de la première guerre mondiale. Reste le nom attaché à la plus grande plage de la commune : **la plage de la Mine d'or**.

Les roches de la falaise de la Mine d'or

Deux grands ensembles de roches composent la falaise. A la base, un premier ensemble comprend des **micaschistes** plus ou moins altérés en **kaolin**. Au dessus, le second ensemble correspond à des roches sédimentaires récentes peu consolidés : **sables, graviers et galets**. Ce second ensemble peut lui même être subdivisé en trois unités que l'on suit tout le long de la falaise. Le contact entre ces deux grands ensembles correspond à une surface d'érosion. Enfin, le sommet de la falaise comprend une fine couche de sédiments éoliens, appelés **loess**.



Les **micaschistes** sont des roches qui ont été enfouies à plusieurs kilomètres de profondeur dans la croûte terrestre lors de la formation d'une grande chaîne de montagnes, la **chaîne Hercynienne**, il y a plus de 300 millions d'années. Ces roches sont aujourd'hui visible en surface suite à la destruction de la chaîne par érosion

Les micaschistes appartiennent au groupe des roches dites "métamorphiques", terme qui désigne les roches ayant subi une recristallisation due aux modifications de température et de pression lors de leur histoire dans l'intérieur de la Terre.

Le **kaolin** est une roche argileuse qui se forme sous climat tropical humide. Dans ces milieux, la circulation dans le sous-sol des eaux de pluie, très agressives, entraîne le lessivage des éléments chimiques constitutifs des roches, à l'exception de la silice et de l'aluminium. Ces deux éléments résiduels se recombinaient alors et forment une nouvelle roche : le kaolin. Le kaolin est la matière première pour la fabrication de la porcelaine. Un grand gisement de kaolin est actuellement exploité à Ploemeur, près de Lorient



Les **sables, graviers et galets** sont des éléments issus du transport des produits d'érosion d'une roche préexistante (ils forment des roches dites "détritiques"). A Pénestin, ces éléments ont été transportés puis déposés dans le lit de rivières qui s'écoulaient à l'emplacement actuel de la falaise. La taille de ces éléments et leur degré d'arrondi dépend de la force des courants et de la distance parcourue depuis la zone source d'érosion.

Les **loess** sont des sédiments éoliens, déposés sous l'action de vents puissants sous des climats de type périglaciaire tel que l'on en connaît actuellement dans le nord du Canada ou la Sibérie par exemple.

Les micaschistes appartiennent au groupe des roches dites "métamorphiques", terme qui désigne les roches ayant subi une recristallisation due aux modifications de température et de pression lors de leur histoire dans l'intérieur de la Terre.

A Pénestin, la mémoire d'un fleuve disparu

Dans la partie supérieure de la falaise de la Mine d'Or, l'ensemble constitué de sables, graviers et galets correspond à des **roches sédimentaires**, déposées en couches successives initialement horizontales : les **strates**. Ces dépôts constituent des témoins, des archives, qui permettent de reconstituer les changements qu'a connus la région dans le passé géologique récent (moins d'un million d'années). En effet ces sédiments se sont déposés il n'y a "que" quelques centaines de milliers d'années. La découverte d'outils préhistoriques dans ces sédiments montre que nos très lointains ancêtres vivaient dans la région au moment de leur dépôt.

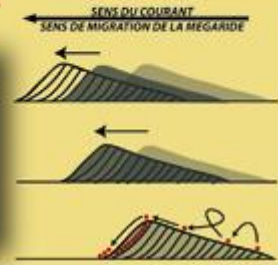
La formation d'une **strate** correspond à un événement hydrosédimentaire. Le passage d'une strate à une autre, visible par un changement de la taille et de l'arrangement des grains, marque une variation des conditions du dépôt (crue, inondation, ...). Au sein d'une strate, l'agencement des grains définit des **litages**, plans ou obliques par rapport aux strates. L'arrangement des litages témoigne des conditions hydrodynamiques du milieu.

Les strates montrent des structures sédimentaires, les **litages obliques**, identiques à celles que l'on peut observer actuellement dans les fleuves. L'étude de ces structures montre qu'il n'y a "que" quelques centaines de milliers d'année, un **fleuve s'écoulait à l'emplacement actuel de la falaise de la Mine d'Or** au sein d'une vallée aujourd'hui disparue. Une des bordures de cette paléovallée est très bien visible au nord de la falaise: on y observe l'ancienne bordure du fleuve, creusée dans les micaschistes; et son remplissage par les sédiments récents, déposés horizontalement.



MODE DE FORMATION DES LITAGES OBLIQUES

Les **litages obliques** se forment dans les fleuves lors du transport des grains de sable au sein de dunes sous aquatiques, aussi appelées **mégarides**. Sous l'action du courant, les grains de sable en mouvement au fond du fleuve se déplacent sur le dos des mégarides, avant de tomber en avalanche en avant de leur front. Par ce mécanisme, les dunes se déplacent dans les fleuves dans le sens du courant. En coupe, une mégaride est ainsi composée d'une série de litages, obliques par rapport aux strates, qui marquent ses avancées successives. L'étude des litages obliques permet de reconstituer les déplacements des mégarides et donc de connaître les **directions de courant** au moment du dépôt.



Les litages obliques montrent que le fleuve dans lequel se sont déposés les sédiments des unités 1 et 2 s'écoulait vers le Nord (précisément vers le Nord-Nord-Ouest). Ainsi, la falaise de la Mine d'Or est globalement parallèle à l'ancien cours de ce fleuve.

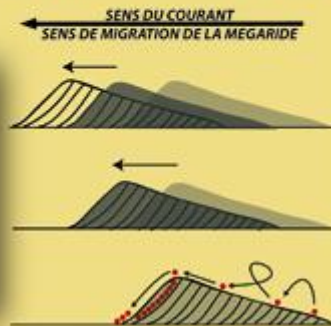
Les litages obliques de l'unité 3 indiquent par contre des directions d'écoulement opposés, vers le Sud (précisément vers le Sud-Ouest). Les archives sédimentaires de la Mine d'Or nous apprennent donc que la région a connu un bouleversement géographique majeur entre le dépôt des unités 2 et 3, marqué par un changement de la direction d'écoulement des anciens fleuves de la région de pénestin.



← Ancienne bordure de la vallée fossile de Pénestin, visible dans la partie Nord de la falaise de la Mine d'Or. Les sables, graviers et galets (rouge) sont déposés au dessus d'une surface d'érosion (représentée en pointillés) creusée dans les micaschistes (marron). Le dépôt de ces sédiments a entraîné le comblement progressif de l'ancienne vallée, qui est maintenant fossile.

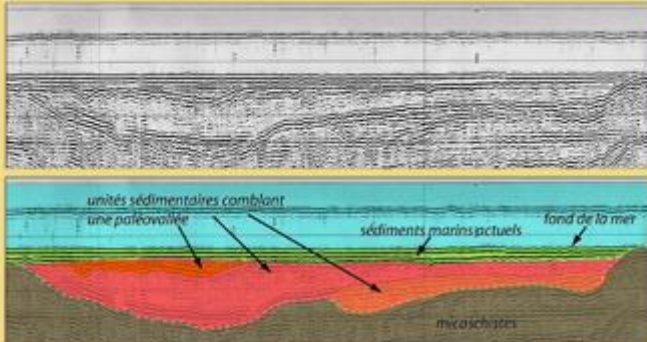
MODE DE FORMATION DES LITAGES OBLIQUES

Les **litages obliques** se forment dans les fleuves lors du transport des grains de sable au sein de dunes sous aquatiques, aussi appelées **mégarides**. Sous l'action du courant, les grains de sable en mouvement au fond du fleuve se déplacent sur le dos des mégarides, avant de tomber en avalanche en avant de leur front. Par ce mécanisme, les dunes se déplacent dans les fleuves dans le sens du courant. En coupe, une mégaride est ainsi composée d'une série de litages, obliques par rapport aux strates, qui marquent ses avancées successives. L'étude des litages obliques permet de reconstituer les déplacements des mégarides et donc de connaître les **directions de courant** au moment du dépôt.



Un site témoin des environnements passés

En mer, au large de Pénestin, sous une fine couche de dépôts actuels de vases et de sables, les fonds marins sont constitués des mêmes roches que celles observables dans la falaise de la Mine d'Or. Grâce à la mise en oeuvre des techniques de **sismique réflexion**, les études de géologie marine ont permis de mettre en évidence qu'elles dessinent un réseau de vallées fossiles qui parcourt les fonds marins sud armoricains. Comme dans la falaise de la Mine d'Or, ces vallées fossiles sont comblées de sédiments. Elles ne sont donc pas visibles dans la bathymétrie, c'est à dire dans la topographie des fonds sous-marins. Ces vallées fossiles sont tout à fait comparables à la paléovallée observable dans la falaise de la Mine d'Or et elles en constituent la prolongation en mer.



Exemple de profil de sismique réflexion obtenu, en mer, au large de Pénestin (haut: profil brut; bas: profil interprété). On y reconnaît une vallée fossile creusée dans des micaschistes et comblée par des unités sédimentaires. Pour cette raison, cette vallée fossile n'est pas visible dans la topographie du fond de la mer, qui apparaît plat. Cette paléovallée est un analogue, en mer, de la paléovallée de Pénestin visible dans la falaise de la Mine d'Or.

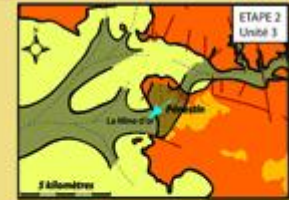
Les vallées fossiles qui occupent les fonds sous-marins du Sud de la Bretagne se sont formées quand ces domaines étaient des terres émergées, lors des périodes géologiques pendant lesquelles le **niveau de la mer** était beaucoup plus bas qu'actuellement. Il y a par exemple 18 000 ans, le niveau marin était plus bas d'environ 100 mètres et le littoral était alors à une centaine de kilomètres de la côte actuelle. Et dans cet espace terrestre aujourd'hui ennoyé, des fleuves s'écoulaient ...

PRINCIPE DE LA SISMIQUE REFLEXION OU COMMENT VOIR SOUS TERRE ?

La sismique réflexion est une méthode géophysique qui permet d'obtenir des images des limites entre les différentes roches qui composent le sous-sol, sous la surface terrestre. Il s'agit d'une méthode qui est sur le principe exactement comparable aux échographies réalisées en domaine médical.

En sismique réflexion, des ondes sont émises à partir d'une source et pénètrent dans le sous-sol. En profondeur, elles peuvent être réfléchies sur des interfaces marquées des changements des propriétés physiques des roches (dus à des changements de la nature et/ou de la taille des grains par exemple), à l'image d'un miroir qui renvoie la lumière. En surface, des récepteurs appelés **géophones** captent les "échos" de ces ondes, ce qui permet de reconstituer l'image des interfaces sur lesquelles les ondes ont été réfléchies.

Un profil de sismique réflexion est donc une image d'une coupe effectuée dans le sous-sol. Elle est constituée d'une succession de lignes noires appelées **réflecteurs** qui correspondent aux interfaces entre les différentes roches. La sismique réflexion peut être mise en oeuvre aussi bien à terre qu'en mer à partir d'un navire. **DE LA SISMIQUE REFLEXION**



Sédiments fluviaux cartographiés à terre Vallées fossiles cartographiées en mer Directions de paléo-courants mesurées à Pénestin

Les reconstitutions de l'évolution du paysage à l'échelle régionale montrent que c'est très probablement **la Loire** qui s'écoulait à l'emplacement actuel de la falaise de la Mine d'Or au moment du dépôt des unités 1 et 2. Cette paléo-Loire se prolongeait vers l'ouest en longeant le sud de la Bretagne dans des régions qui sont aujourd'hui immergées. Au moment du dépôt de l'unité 3 c'est par contre **la Vilaine** qui s'écoulait à l'emplacement de la Mine d'Or tandis que la Loire avait acquis un cours proche de l'actuel.



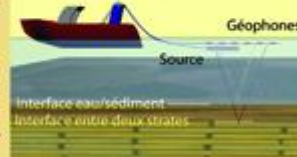
Vallées fossiles submergées mises en évidence par sismique réflexion et ancien tracé de la Loire lors de la formation de la paléovallée de Pénestin (dépôt des unités 1 et 2)

PRINCIPE DE LA SISMIQUE REFLEXION OU COMMENT VOIR SOUS TERRE ?

La sismique réflexion est une méthode géophysique qui permet d'obtenir des images des limites entre les différentes roches qui composent le sous-sol, sous la surface terrestre. Il s'agit d'une méthode qui est sur le principe exactement comparable aux échographies réalisées en domaine médical.

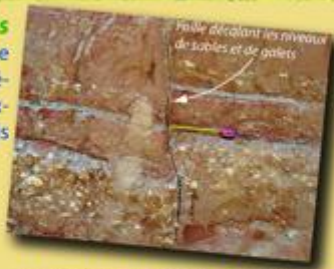
En sismique réflexion, des ondes sont émises à partir d'une source et pénètrent dans le sous-sol. En profondeur, elles peuvent être réfléchies sur des interfaces marquées des changements des propriétés physiques des roches (dus à des changements de la nature et/ou de la taille des grains par exemple), à l'image d'un miroir qui renvoie la lumière. En surface, des récepteurs appelés **géophones** captent les "échos" de ces ondes, ce qui permet de reconstituer l'image des interfaces sur lesquelles les ondes ont été réfléchies.

Un profil de sismique réflexion est donc une image d'une coupe effectuée dans le sous-sol. Elle est constituée d'une succession de lignes noires appelées **réflecteurs** qui correspondent aux interfaces entre les différentes roches. La sismique réflexion peut être mise en oeuvre aussi bien à terre qu'en mer à partir d'un navire.

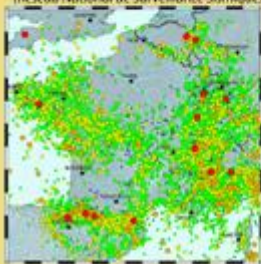


Une déformation à travers des climats passés

Des **plis** et des **failles** sont bien visibles tout le long de la falaise. Ils témoignent des déformations tectoniques auxquelles le site a été soumis récemment.



Tremblements de Terre enregistrés en France de 1980 à 2005
Données ReNaSS
(Réseau National de Surveillance Sismique)

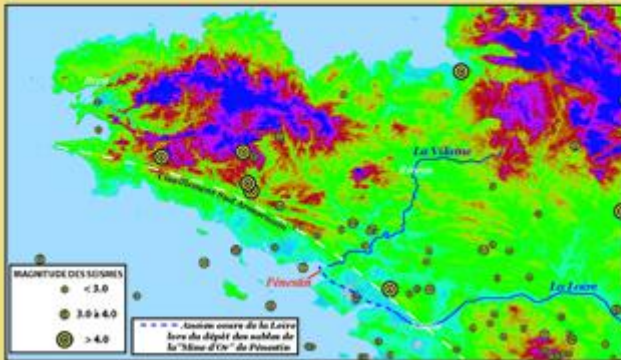


L'ensemble du massif Armoricaïn est toujours une région active tectoniquement, comme le montre par exemple la carte des tremblements de terre ci-contre.

En Bretagne, les séismes les plus importants se situent au Sud le long d'une grande zone de failles appelée **Cisaillement Sud Armoricaïn** (en pointillé sur la carte ci-dessous).

La commune de Pénestin est proche de cette zone active sismiquement. Les déformations visibles le long de la fal-

Principaux séismes du Massif Armoricaïn sur la période 1980-2005



Comme tout le Nord de la France, la région de Pénestin a connu un climat **périglacière** au cours des périodes géologiques récentes (Quaternaire). A l'image des domaines péri-glaciaires actuels (Sibérie et Canada), le sous-sol penestinois subissait une alternance de gel/dégel suivant les saisons. Ces conditions climatiques extrêmes ont entraîné la formation de réseaux de **fentes de gel**. De telles fentes de gel, fossiles, sont visibles au sommet de la falaise de Pénestin.



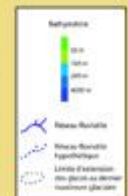
← Réseau actuel de fentes de gel dans le Nord du Québec.
Photo D. Bruneau
<http://www.ccdmd.qc.ca>



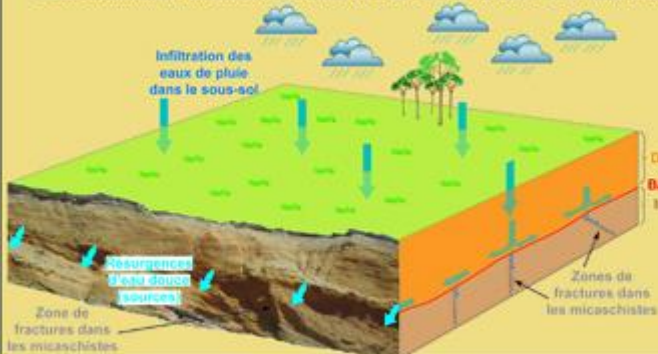
Dans ces conditions climatiques, des vents violents mettaient en suspension des particules fines en bordure de la calotte polaire. Le dépôt de ces particules éoliennes forme des sédiments, les **loess**, visibles au sommet de la falaise.



Fente de gel vue en coupe et dépôt de loess au sommet de la falaise de la Mine d'Or



FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE ACTUEL DE LA FALAISE DE LA MINE D'OR



SUR LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LES ROCHES

sable vu au microscope



Les dépôts sédimentaires de la falaise de la Mine d'Or sont constitués d'un agrégat de grains arrondis, visibles à toutes les échelles (de l'œil nu au microscope). Le "vide" entre les grains confère à ces roches une forte porosité et perméabilité permettant une infiltration aisée des eaux de pluie et de ruissellement. Cette série sédimentaire, perméable constitue ainsi un très bon aquifère pouvant accueillir une **nappe phréatique**.

micaschiste vu au microscope



Les micaschistes qui constituent la base de la falaise de la Mine d'Or sont constitués d'un agrégat de minéraux en plaquette, les micas, empilés les uns sur les autres. Cet arrangement des éléments de la roche lui confère une très faible porosité et perméabilité. Il s'agit donc d'une roche plutôt imperméable qui ne favorise pas la circulation des fluides.

La série sédimentaire visible dans la falaise de la Mine d'Or s'étend sur plusieurs kilomètres, dans les terres, sous la commune de Pénestin. L'infiltration des eaux de pluie dans le sous-sol est favorisée par la nature très perméable des roches qui la compose. Par contre, les micaschistes que l'on trouve en dessous forment une **barrière de perméabilité** qui empêchent le trajet descendant des eaux d'infiltration. Dans ces micaschistes, seules quelques zones de fracture pourraient potentiellement permettre le cheminement des eaux vers la profondeur. Le long de la falaise de la Mine d'Or, une conséquence directe de l'existence de cette barrière de perméabilité est la résurgence de ces eaux sous forme de **sources d'eau douce**, systématiquement localisées à l'interface entre la série sédimentaire et les micaschistes sous-jacents.

La **couleur orangée** de la série sédimentaire de la Mine d'Or est une première conséquence des circulations d'eau. Cette coloration est due à la présence d'oxydes de fer autour des grains de sables. Ces oxydes se sont formés par précipitation du fer contenu dans l'eau qui a percolé dans la série sédimentaire. Au nord de la falaise, ces précipitations d'oxydes de fer ont entraîné une véritable consolidation des dépôts sédimentaires et formé une **cuirasse ferrugineuse**.

Cuirasse ferrugineuse

Dépôts sédimentaires

BARRIÈRE DE PERMEABILITÉ

Micaschistes



D'un point de vue botanique, l'émergence d'eau douce le long de la falaise est à l'origine du développement d'une flore d'eau douce typique des milieux humides dont des **roseaux** bien visibles au niveau de l'accès nommé "la source".

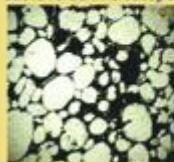
Dans le passé, ces sources d'eau douce ont été mis à profit par les femmes de Pénestin qui improvisaient des **"lavoirs"** au niveau de ces résurgences.



Enfin, il est à noter que ces résurgences d'eau perpendiculaires à la falaise représentent un, voire "le", facteur majeur de déstabilisation à l'origine de l'**effondrement de la falaise**.



sable vu au microscope



SUR LA CIRCULATION DE L'EAU DANS LES ROCHES

Les dépôts sédimentaires de la falaise de la Mine d'Or sont constitués d'un agrégat de grains arrondis, visibles à toutes les échelles (de l'œil nu au microscope). Le "vide" entre les grains confère à ces roches une forte porosité et perméabilité permettant une infiltration aisée des eaux de pluie et de ruissellement. Cette série sédimentaire, perméable, constitue ainsi un très bon aquifère pouvant accueillir une **nappe phréatique**.

micaschiste vu au microscope



Les micaschistes qui constituent la base de la falaise de la Mine d'Or sont constitués d'un agrégat de minéraux en plaquette, les micas, empilés les uns sur les autres. Cet arrangement des éléments de la roche lui confère une très faible porosité et perméabilité. Il s'agit donc d'une roche plutôt imperméable qui ne favorise pas la circulation des fluides.

