<u>Synthèse</u> : Les sédiments à l'origine des paragneiss se sont probablement déposés au fond d'une mer, puis ont été chevauchés par 15 à 18 km de croûte pour se transformer en paragneiss.

Immédiatement au-dessus des paragneiss, on retrouve nos orthogneiss ; ce sont eux qui les chevauchent et qui font donc partie de la croûte chevauchante.

- ***Les orthogneiss de la croûte chevauchante***

Ici, l'orthogneiss est à gros grains ; il renferme de nombreuses restites ou « crapauds », inclusions basiques de forme plutôt ovoïde.

Enclave basique ovoïde dans un orthogneiss à gros cristaux

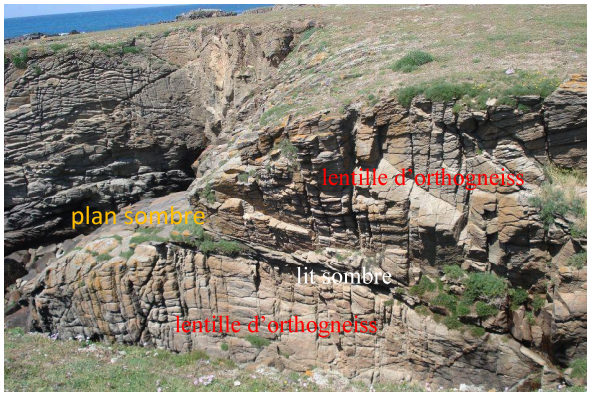
Mais en remontant vers le haut de la falaise, des mêmes inclusions basiques apparaissent complètement laminées, tellement étirées qu'elles prennent l'aspect de véritables feuillets. Il en est de même de l'orthogneiss voisin dont les grains sont devenus plus effilés, aplatis.

Enclave basique complètement laminée dans un orthogneiss plus « écrasé »

On a donc la preuve que le protolithe des orthogneiss (= la granodiorite) a été, comme le protolithe sédimentaire des paragneiss, intensément déformé.

On apprend aussi que cette déformation n'a pas été homogène puisque selon les endroits, la granodiorite et les enclaves qu'elle renferme n'ont pas répondu de la même façon à la déformation.

L'orthogneiss présente également un débit net en lentilles plus ou moins volumineuses.



Débit en grosses lentilles vers la plage de Ker Daniau (Nord de la plage des Sables Rouis)

Sur la photo ci-dessus, on observe très bien en coupe, entre les lentilles plus claires d'orthogneiss, un lit très sombre, presque noir, luisant au soleil et fin (quelques centimètres d'épaisseur).

Sur la hauteur de la falaise, on voit plusieurs lits sombres qui s'anastomosent, formant un véritable lacis.

Si l'érosion les met à nu, ces lits sombres forment de véritables surfaces planes ou légèrement bombées et lisses, dans la foliation de l'orthogneiss.

Quand nous sommes à leur contact direct, ils révèlent véritablement leur richesse en biotite. C'est de la **biotitite**, qu'on avait déjà observée de loin à la Pointe des Corbeaux (arrêt 2).

Surface noire de biotitite à la surface d'une lentille d'orthogneiss

Dans l'orthogneiss, on peut également rencontrer du **disthène.**

Cristal de disthène dans une charnière de quartz au sein de la foliation orthogneissique

Synthèse :

Les orthogneiss qui chevauchent les paragneiss ont subi les mêmes déformations que ces derniers : débit en boudins, lentilles fuselées, preuve que la granodiorite passée à l'état ductile a été elle aussi intensément cisaillée, étirée à chaud en même temps qu'elle se métamorphisait.
Ce métamorphisme s'est fait d'autre part à peu près dans les mêmes conditions que celui des sédiments à l'origine des paragneiss, comme le prouve la présence de disthène.
Enfin, les plans de foliation des paragneiss et des orthogneiss coïncident exactement.

Tout cela ne peut relever que d'une seule et même cause ; c'est la même déformation à valeur régionale (chevauchement vers le Sud, « top-to-the-South » !) qui a transformé les sédiments et la granodiorite respectivement en paragneiss et orthogneiss.

Mais quelle est l'origine de ces biotitites localisées uniquement au niveau des zones de cisaillement, entre les lentilles d'orthogneiss, là où la déformation a été la plus intense ?

Les sédiments à l'origine des paragneiss étaient initialement gorgés d'eau. Si une partie de l'eau a pu servir de fondant pour rendre le quartz ductile, où est passé l'essentiel de l'eau ?

Arrêt 5 : Grotte de la « Pierre à Monsieur »

Au-dessus et de part et d'autre de la grotte, on distingue assez bien une énorme lentille d'orthogneiss qui repose sur un plan incliné de biotitite.

Grotte de la « Pierre à Monsieur »

Sur la photo ci-dessous, prise à droite de la grotte, on retrouve la terminaison de la lentille d'orthogneiss (1) reposant sur le plan de biotitite (2).

Immédiatement en dessous, on observe même un deuxième plan de biotitite (3) à peu près parallèle au premier. Et les deux plans encadrent de l'**orthogneiss boudiné** (4) ; deux petits boudins d'orthogneiss sont bien visibles.

Incluse dans l'orthogneiss, là où il a été intensément cisaillé, on peut considérer que la biotitite s'est formée à partir de cet orthogneiss. Ce serait un peu comme une relique d'orthogneiss.

Mais la biotitite diffère de son encaissant par sa minéralogie complexe : elle est constituée de **biotite**, de **muscovite** et de plusieurs silicates d'alumine **(sillimanite essentiellement)** alors que l'orthogneiss qui est une métagranodiorite, renferme **quartz et feldspaths (orthose et plagioclases)** en plus de la biotite.

De plus, elle a un grain très fin et a acquis un débit schisteux : c'est un **orthoschiste**.

Tout se passe donc comme si, au niveau des zones de cisaillement, l'orthogneiss avait perdu son quartz et ses feldspaths. Ne resterait alors en place, principalement, que la biotite à laquelle viendraient s'adjoindre la sillimanite, la muscovite et du quartz secondaire.

Rappels : Pour que le quartz et les feldspaths « disparaissent par fusion », deux conditions sont nécessaires : il faut une température supérieure à 600°C et il faut de l'eau.

Or ici, les conditions de température ne sont pas réunies (T° < 600°C). Seule l'eau est par conséquent susceptible d'induire une transformation de la roche.

Quelle est l'origine de l'eau circulant dans les zones de cisaillement ? Elle proviendrait des sédiments pélitiques chevauchés, aujourd'hui transformés en paragneiss. Ces sédiments devaient en être gorgés. Quand ils ont été chevauchés par 15 à 18 km de croûte granodioritique et se sont retrouvés dans des conditions de T° et de P voisines de 550-600°C et 4-5 kbar, ils ont été comprimés et leur eau a été chassée dans la granodiorite chevauchante, tout cela dans un contexte de cisaillement.

Dans la granodiorite en voie d'orthogneissification, l'eau a pu emprunter des fractures, des diaclases préexistantes mais surtout les zones de cisaillement ductiles apparaissant au fur et à mesure que la déformation progressait.

Dans ces zones, l'eau a alors « dissous » le quartz **et** les feldspaths.

La disparition des feldspaths ou **« défeldspathisation »** est en fait très complexe (d'après le polycopié de Hervé DIOT) :

- **Dans un premier temps :**

Recristallisation des plagioclases en plagioclases plus acides et remplacement du feldspath potassique par des plagioclases sodiques.

- **Dans un second temps :**

Elimination totale du feldspath potassique.

- **Dans un troisième temps :**

Elimination des plagioclases avec développement corrélatif des micas (muscovite) et des minéraux alumineux (sillimanite).

Ces transformations métamorphiques peuvent être traduites schématiquement par des réactions de décalcification du plagioclase, d'albitisation du feldspath potassique et de muscovitisation des feldspaths selon les équations chimiques suivantes :

3 Anorthite + 2 K^+ + 4 H^+ → 2 Muscovite + 3 Ca^{2+}

1 Microcline + Na^+→ 1 Albite + K^+

1 Microcline + 2 H^+ → 1 Muscovite + 2 K^+ + 6 SiO_2 (en solution)

1 Microcline + 2 Albite + 2 H^+ → 1 Muscovite + 2 Na^+ + 6 SiO_2 (en solution)

2 $KAlSi_3O_8$ + 21 H_2O → Al_2SiO_5 + 5 $Si(OH)_4$ + 2 H_2Oaq + 2 K(OH)aq

avec $KAlSi_3O_8$ = feldspath orthose et Al_2SiO_5 = silicate d'alumine (sillimanite)

Il s'opère par conséquent dans ces zones de cisaillement, dans ces couloirs de déformation, de faiblesse, **un véritable lessivage ou « leaching » du potassium, du sodium, du calcium et du silicium** lié à la disparition des feldspaths et du quartz. Tout cela est exporté par les fluides hors du système. Puisqu'il y a variation de chimisme, on peut alors véritablement parler de **métamorphisme allochimique** ou **métasomatose***.

Seuls restent sur place la biotite et l'aluminium, ce dernier participant ensuite à la formation des silicates d'alumine et donc à l'enrichissement en sillimanite. La muscovite quant à elle se forme à partir du feldspath potassique (microcline).

A l'inverse, là où la granodiorite a été moins déformée, en quelque sorte « à l'abri » des contraintes les plus fortes, zones aujourd'hui représentées par le cœur des lentilles d'orthogneiss, les cristaux de quartz et de feldspaths sont devenus simplement plus ductiles à des températures de l'ordre de 550-600°C et se sont étirés ; la granodiorite s'est métamorphisée en orthogneiss typique.

L'eau est donc un facteur important du métamorphisme car :

- **elle est un vecteur de chaleur,**
- **elle est un vecteur de matière,**
- **elle diminue le point de fusion des roches qui peuvent atteindre plus tôt l'état fondu (anatexie).** On le verra à l'arrêt 7.

Par où s'échappent ensuite ces fluides de lessivage ?

Pour la plus grande partie, **ils vont circuler dans les zones de cisaillement (première voie de migration).**

Mais en observant attentivement la lentille d'orthogneiss au-dessus de la grotte, on constate qu'elle est traversée par des filons de quartz verticaux donc sécants par rapport à la foliation de l'orthogneiss et à l'orientation générale de la lentille. Et comme par hasard, ces filons naissent au niveau même de la zone de cisaillement constituée de biotitite.

Filons de quartz, « flammes » et plan de biotitite : les trois voies de migration des fluides à travers les lentilles d'orthogneiss

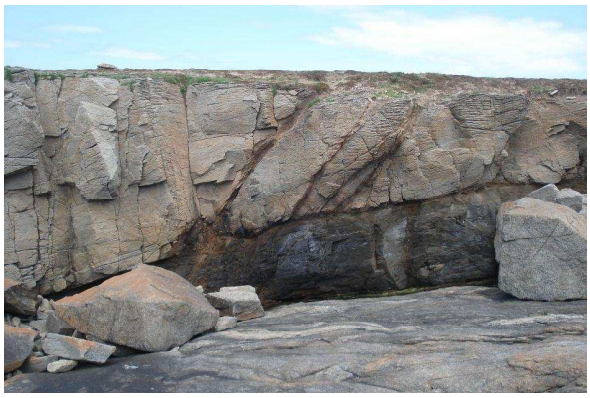
Or, rappel, les fluides sont riches en silice dissoute.

Ces filons de quartz matérialisent donc **une deuxième voie possible de migration** des fluides au sein même des lentilles d'orthogneiss.

On observe enfin, disposées parallèlement aux filons de quartz, comme des flammes verticales, dilatées à la base près de la zone de cisaillement et effilées à l'autre bout. A leur niveau, l'orthogneiss a été **chloritisé** (chloritisation de la biotite) et **silicifié** ce qui démontre que ces « chandelles » représentent une **troisième voie de circulation des fluides**.

Arrêt 6 : Anse des Amporelles

On observe ici un **filon de dolérite** épais de 2 à 3 m environ.



Filon de dolérite

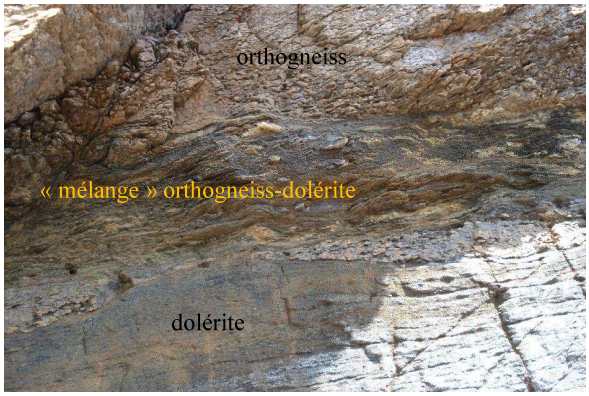
La dolérite est aujourd'hui métamorphisée en amphibolite renfermant de gros cristaux d'amphibole brun-noir et des petits cristaux mordorés de biotite.

L'amphibole pourra se transformer avec le temps en biotite.

Ce gros filon de dolérite par altération ultime pourra donc finir par ressembler à une biotitite ! Si ce n'est qu'il prendra une teinte plutôt ocre.

On constate que la partie supérieure du filon est fortement laminée et mêlée à des lentilles très étirés d'orthogneiss (photo suivante), preuve que le filon de dolérite a subi lui aussi la déformation au point de se paralléliser à la foliation de l'orthogneiss.

Contact filon de dolérite - orthogneiss



Détail du contact filon de dolérite - orthogneiss

Cet orthogneiss présente de beaux cristaux de feldspath. Quand on les examine de près, on constate qu'ils sont allongés en amande et que certains se prolongent par deux queues de recristallisation indiquant un cisaillement « top vers le S-SE ».

Arrêt 7 : Le vieux château

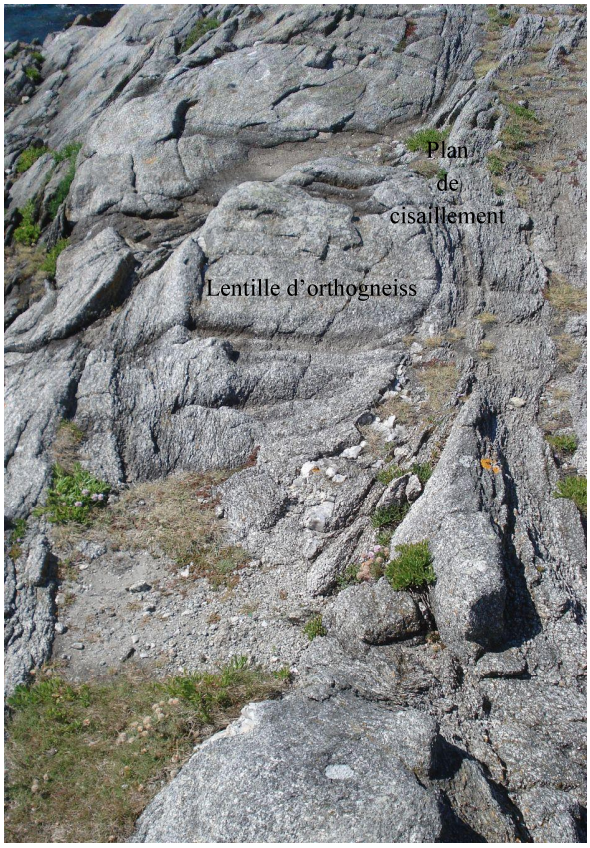
Les affleurements du Vieux Château sont situés à l'Est de la Pointe du Châtelet.

L'orthogneiss est ici encore débité en lentilles séparées par des zones très laminées constituées de biotitite mais ici moins riche en biotite qu'à la Plage des Sables Rouis.

Sur la photo suivante, on observe la surface du sol. On voit que **les zones de cisaillement sont « verticalisées »** comme partout au Sud de l'île (observation déjà faite à l'arrêt 3).

Au sein de l'orthogneiss, le **grenat est présent**, principalement dans les zones déformées de manière importante. Autour des grenats, la biotite est presque absente.

Cela s'explique assez facilement : c'est la biotite (Bt) qui s'est en fait transformée en grenat (Gt) en réagissant avec un silicate d'alumine (AlS) selon l'équation chimique ci-contre :



Lentille d'orthogneiss et plans de cisaillement verticaux

Zone d'orthogneiss riche en grenat et pauvre en biotite

$$Bt + AlS \rightarrow Gt + KF + H_2O$$

C'est une réaction métamorphique de déstabilisation de la biotite qui se produit lors de la formation de certaines granulites. L'apparition du grenat est indicateur de haute pression ; dans des conditions de plus basse pression, c'est de la cordiérite qui se serait formée.

Mais le point important à noter ici est que la biotite est un minéral hydroxylé, qui contient de l'eau alors que le grenat est un minéral anhydre. Cette réaction libère par conséquent de l'eau.

Le peu d'eau qui se forme reste sur place dans l'orthogneiss et fond un peu de son quartz et de ses feldspaths (albite) selon la réaction :

$$Qz + Ab + Or\ (KF) + H_2O \rightarrow \text{liquide eutectique}$$

Cette fusion ou anatexie de l'orthogneiss est donc à la fois peu importante et très localisée.

Souvent, le liquide de fusion formé ne se sépare pas de la phase solide. Il cristallise alors en une pegmatite concordante avec la foliation de l'orthogneiss et riche en cordiérite.

Pegmatite concordante par rapport à la foliation de l'orthogneiss

Mais parfois, dans ce secteur du « Vieux Château », il se rassemble en « poches » de belle taille à l'origine de concentrations de silicates d'alumine où sillimanite, andalousite et disthène voire cordiérite coexistent.

Association sillimanite blanche, disthène bleu et andalousite rose dans un galet (Photo Hervé DIOT)

Boule de sillimanite

NB : Aux Sables d'Olonne (Sud de l'Anse de Chaillé), l'anatexie qui a été datée à 388 ± 8 Ma a été beaucoup plus importante.

Arrêt 8 : Port de la Meule

A l'entrée du port, près du phare, on retrouve l'orthogneiss verticalisé.

Dans cet orthogneiss, les cristaux de feldspath sont très étirés. Certains montrent de façon évidente deux queues traduisant un **cisaillement senestre d'orientation Est-Ouest**.

Cette déformation E-O serait d'âge Carbonifère supérieur, aux alentours de 300 Ma et donc postérieure à la déformation en chevauchement N-S que nous avons rencontrée tout au long de la journée **(voir Document de synthèse de Hervé DIOT)**.

Bibliographie :

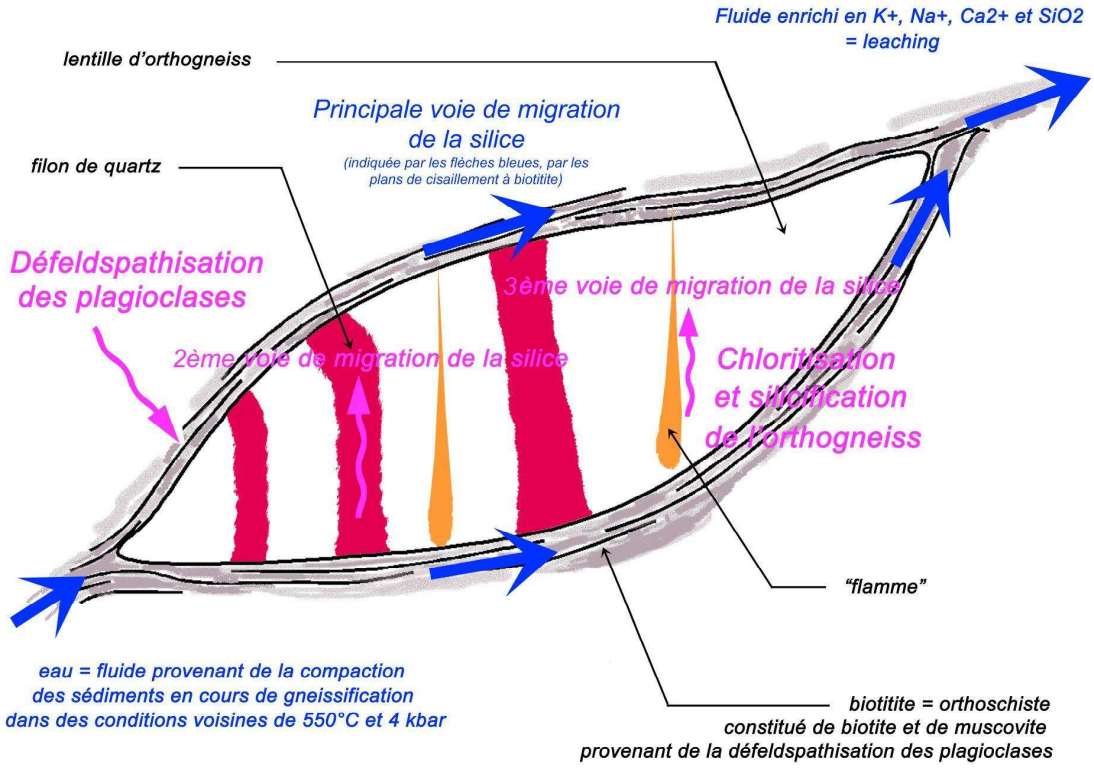
- Polycopié de Hervé Diot

- « Les grandes lignes de la Vendée » - G. Mathieu, 1958

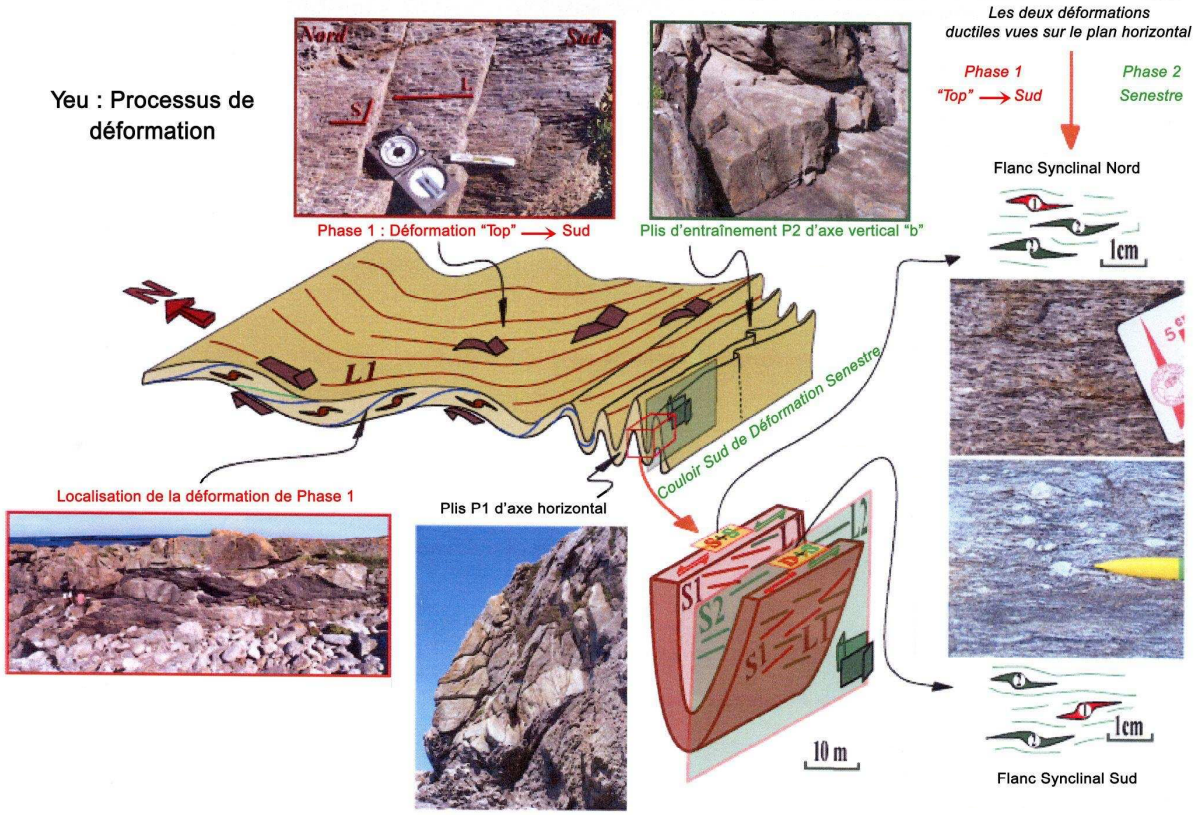
- « Découverte d'enclaves hyper-alumineuses dans l'orthogneiss de l'Île d'Yeu » - B. Semelin et J. Marchand - C.R. Acad. Sc Paris, 1984

Photographies :

Jean Chauvet, Hervé Diot, Pierre Gibaud, Hendrik Vreken



Les 3 principales voies de migration de l'eau et de la silice lors du cisaillement des orthogneiss de l'Île d'Yeu



Document de synthèse de Hervé DIOT