

d) Accidents tectoniques tardifs

On peut l'expliquer par des décrochements conjugués d'orientation Est-Ouest à jeu senestre et NO-SE à jeu dextre.

Ce sont ces décrochements qui sont responsables, entre autres, de l'allure sinueuse, sigmoïdale de la trace du chevauchement des « Porphyroïdes » sur les « Phtanites de Sainte-Véronique ».

Cette surface de chevauchement se termine par laminage en falaise au-dessus de la Grotte du Four à Cateau.

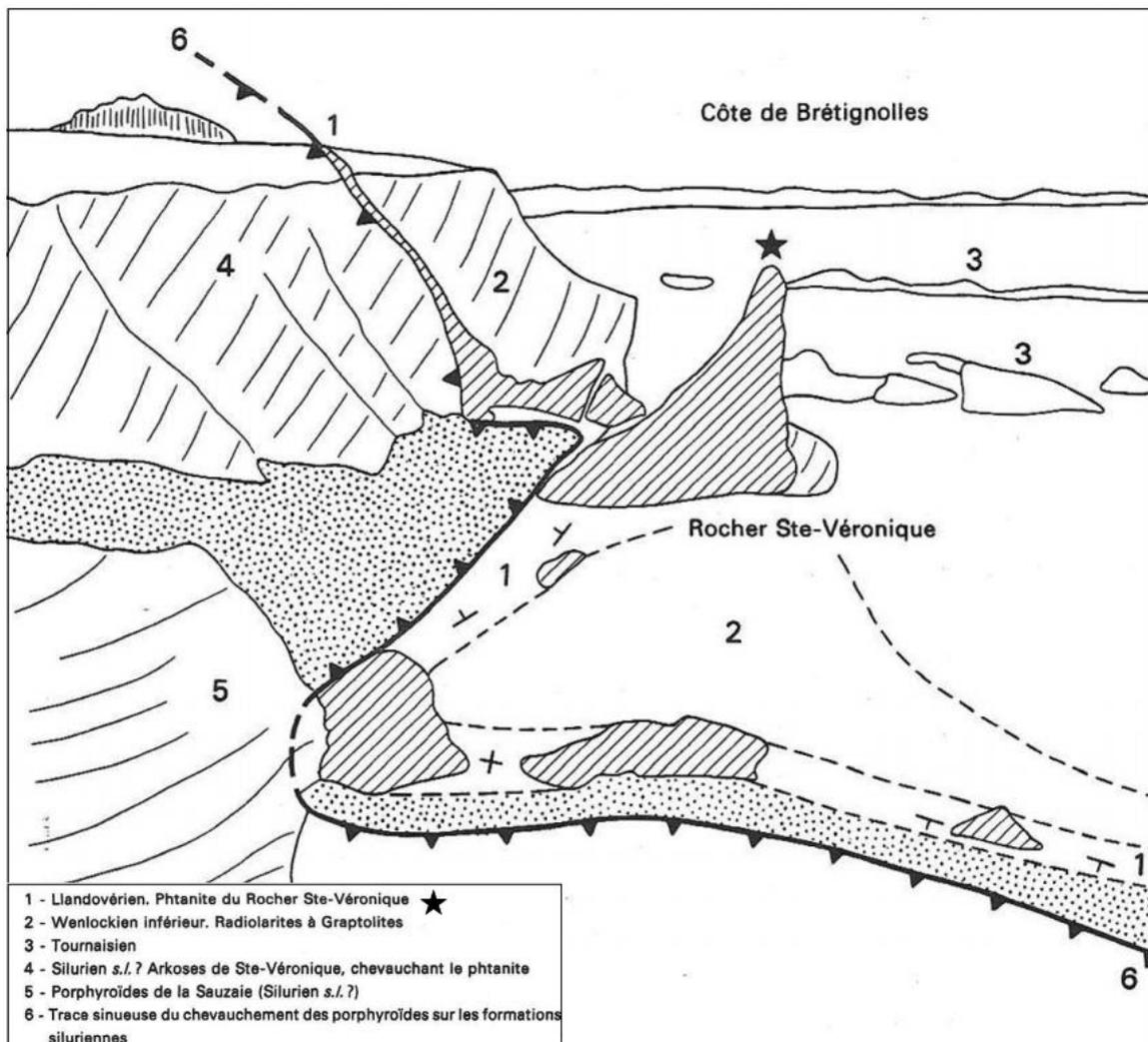


Figure 17 : Vue du parking sur les Phtanites de Sainte-Véronique

Extrait de la notice de la carte géologique de Saint-Gilles-Croix-de-Vie au 1/50000^{ème}

Ces décrochements sont tardi-hercyniens puisqu'ils affectent non seulement les phtanites mais aussi les « Porphyroïdes » ; ils sont post-nappes.

On peut très facilement les mettre en évidence sur l'estran.



Photo 35

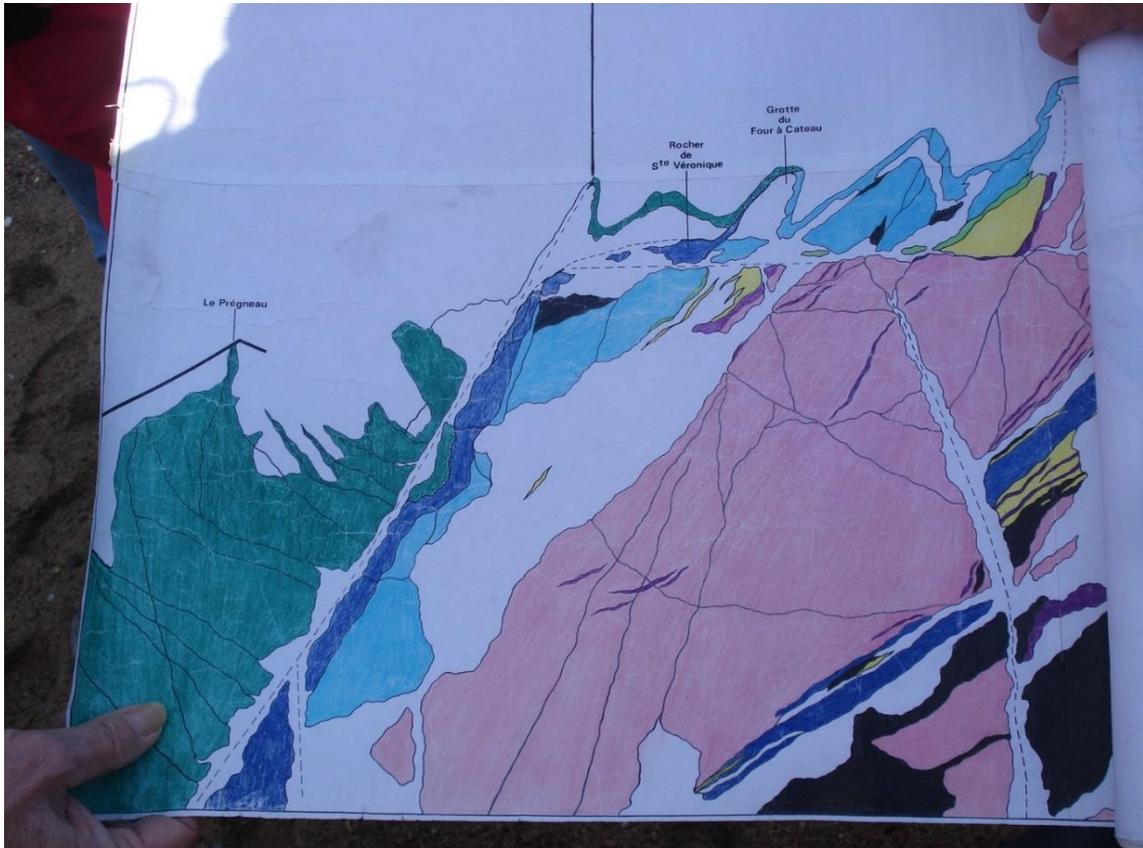


Photo 36

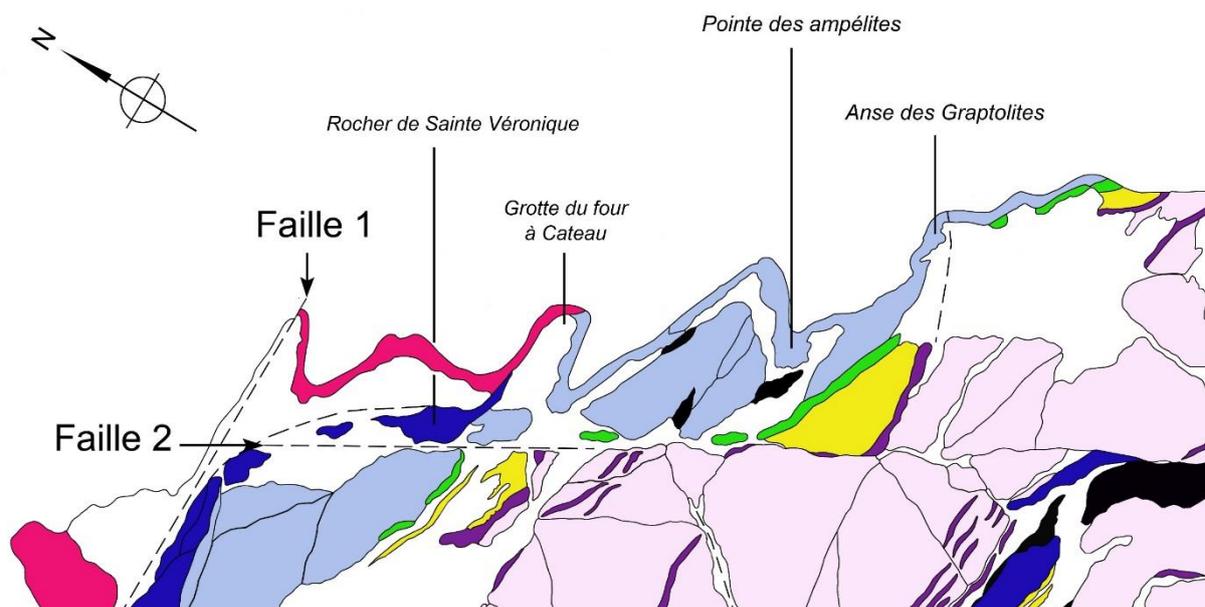


Figure 18 : Extrait de la carte géologique de l'estran de Brétignolles-sur-Mer

Document Didier Poncet

La faille 1 de la figure 18 est de direction Est-Ouest.



Photo 37 : Faille 1 (vue vers l'Ouest)

Elle est visible à gauche de la photo 38 et dessine un rentrant dans la falaise des « Porphyroïdes », rentrant très altéré et aujourd'hui protégé par des enrochements.



Photo 38 : Faille 1 (vue vers l'Est)

La faille 2 de la figure 18 est parallèle à la falaise, de direction NO-SE. Elle est marquée sur l'estran sableux par quelques pointements alignés de phtanites.



Photo 39 : Faille 2 soulignée par un alignement de petits pointements de phtanite sur l'estran sableux parallèle à la falaise

Cartographiquement (voir figures 18 et 19) :

- la faille 2 joue en décrochement dextre ; elle décale les phtanites, les phyllites vertes et les phyllites jaunes situées du côté de la falaise vers la droite par rapport aux mêmes affleurements situés sur l'estran.
- la faille 1 joue en décrochement senestre puisqu'elle décale les « Porphyroïdes » et les phtanites du compartiment Sud vers l'Est par rapport aux mêmes affleurements que l'on retrouve au Sud du Prégneau, sur l'estran (voir figure 19).

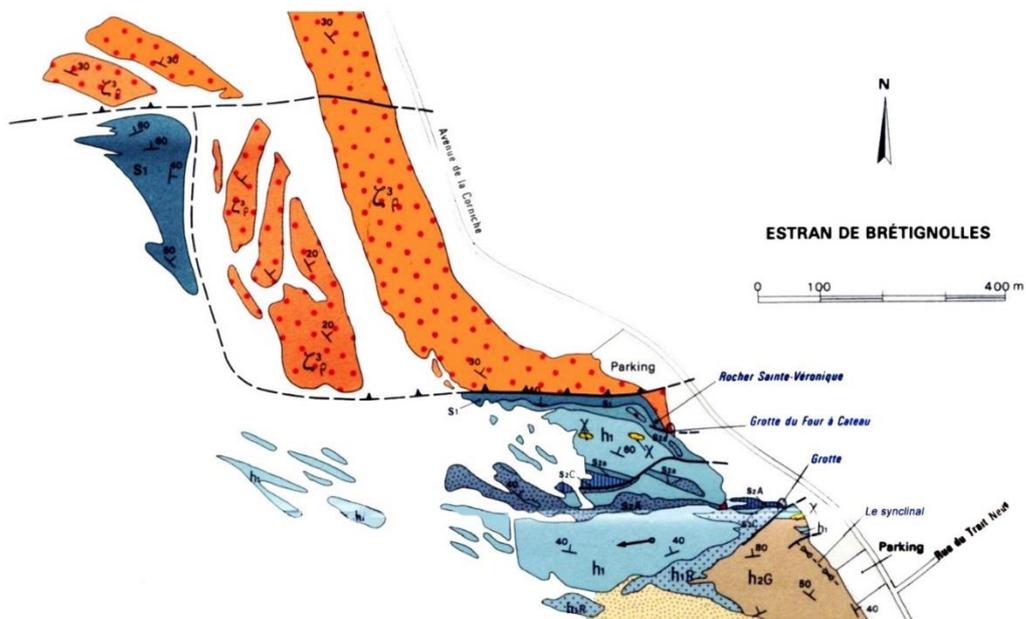


Figure 19 : Extrait de la carte géologique de Saint-Gilles-Croix-de-Vie au 1/50000^{ème}

Sur l'estran, ce jeu des failles 1 et 2 est responsable de la courbure ou virgation des phtanites (voir photo 40).



Photo 40 : Courbure des phtanites près de l'intersection Faille 1 / Faille 2

On comprend alors mieux pourquoi la schistosité S2 des Phtanites du Rocher Sainte-Véronique est orientée NO-SE et pourquoi leur cisaillement se fait vers l'Ouest alors qu'initialement, avant le jeu des failles conjuguées, leur disposition devait être identique à celle des phtanites de l'estran.

En fait, tout un réseau de failles conjuguées parallèles aux failles 1 et 2 précédentes découpe l'estran de Brétignolles-sur-Mer.

Une faille parallèle à la faille 1 se termine par exemple dans la Grotte du Four à Cateau et une autre décale la formation des phyllites rosées à lentilles de microquartzite graphiteux au niveau de l'Anse des Graptolites.

De même, une faille parallèle à la faille 2 décale les formations de la « Série Rythmique Supérieure » à intercalations ampéliteuses et phylliteuses au Sud de l'Anse des Calcaires.

L'estran ressemble donc à un véritable damier. On peut y voir de beaux miroirs de failles.

Remarque : M. TERS interprète certaines de ces failles comme des surfaces de chevauchement (voir figure 20).

Conséquences :

Certaines zones de l'estran ont été soumises à des forces de compression, d'autres à des forces d'extension (voir figure 21).

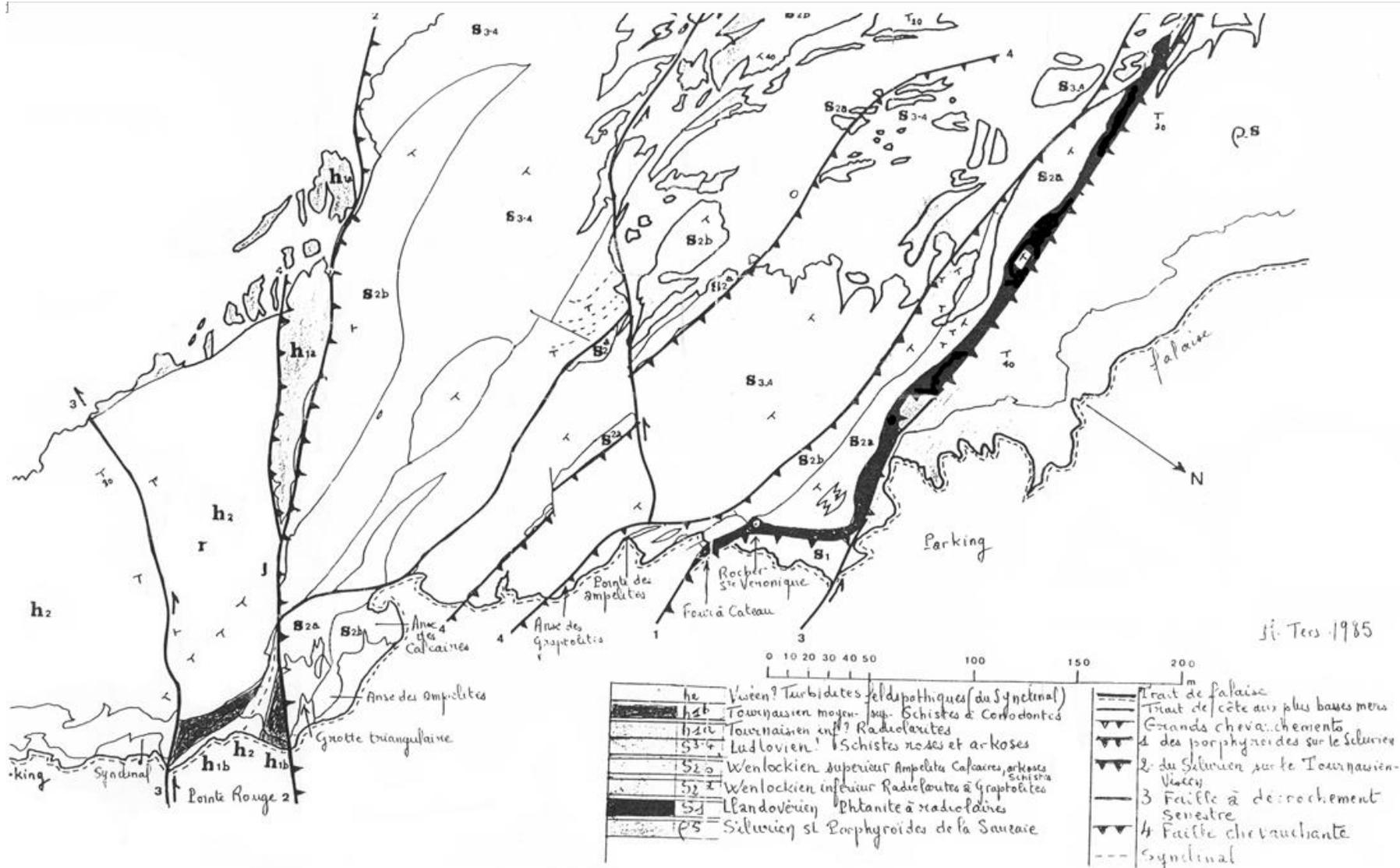
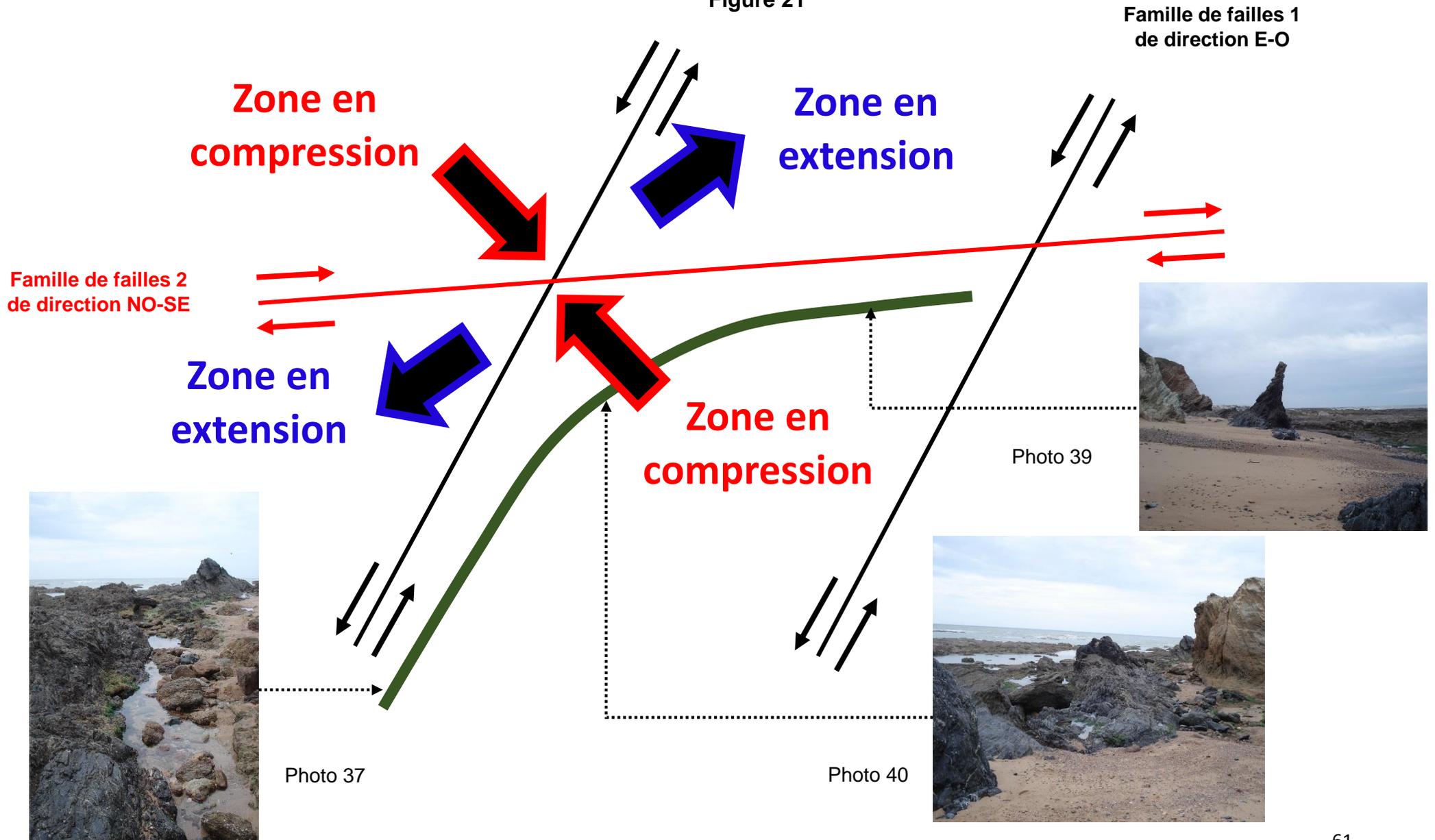


Figure 20 : Carte de l'estran de Brétignolles-sur-Mer (Document M. TERS – 1985)

Figure 21



III. La Série Rythmique Inférieure (S.R.I)

a) Âge

- Âge de la « Série Rythmique Inférieure » : Wenlock inférieur (Silurien)

Datation par M. TERS (1970) grâce à la présence de *Monograptus priodon* et *Monograptus cultellus* (Graptolites) dans les nodules silico-phosphatés de la partie sommitale de la Série Rythmique Inférieure (S.R.I)

Autres fossiles trouvés : Acritarches et Radiolaires.

- Cette formation affleure en falaise de la Grotte du Four à Cateau jusque dans l'Anse des Graptolites.

b) Description de l'affleurement à hauteur de la Grotte du Four à Cateau



Photo 41

◆ Nature des roches

Au niveau de la Grotte du Four à Cateau, la « Série Rythmique Inférieure » consiste en une alternance centimétrique de microquartzites graphiteux noirs et de phyllites rouges.

Par endroits, on peut y observer de très beaux plis isoclinaux à flancs très étirés.



Photo 42 : Alternance phanites-phyllites rouges dans la S.R.I



Photo 43 : Plis isoclinaux dans la S.R.I



Photo 44 : Idem

La S.R.I ressemble donc à la formation des « Phtanites du Rocher Sainte-Véronique » ; les niveaux graphiteux sont seulement moins nombreux et les niveaux de phyllites rouges plus épais.

Au Wenlockien inférieur, la région de Brétignolles-sur-Mer était par conséquent toujours en limite de plateau continental (voir pages 39 et 40).

♦ Déformations

Les déformations de la S.R.I sont également identiques à celles des Phtanites voisines de Sainte-Véronique :

- **phase 1** : apparition d'une schistosité de flux S1 (liée à la diagenèse et l'anchimétamorphisme) parallèle à la stratification S0,
- **phase 2** : acquisition d'une schistosité S2 par formation de plis isoclinaux P2 (avec schistosité de fracture dans les niveaux compétents et schistosité de flux dans les niveaux non compétents),

Pour toutes ces raisons (nature des roches et déformations), on pourrait penser que le passage de la Formation des « Phtanites de Sainte-Véronique » à la « Série Rythmique Inférieure » se fait en parfaite continuité stratigraphique.

Mais du point de vue de la chronologie relative et bien sûr, si les datations par les fossiles sont correctes, un problème se pose : une formation plus vieille, celle des « Phtanites de Sainte-Véronique » datée du Llandovery surmonte une formation plus jeune, la S.R.I, datée du Wenlock inférieur : le Principe de superposition est donc mis en défaut.

Pour quelle raison ?

Détail du contact

Sur le terrain, le passage entre les deux formations ne se fait pas « tranquillement » !



Photo 45 : Rentrant Nord de la Grotte du Four à Cateau

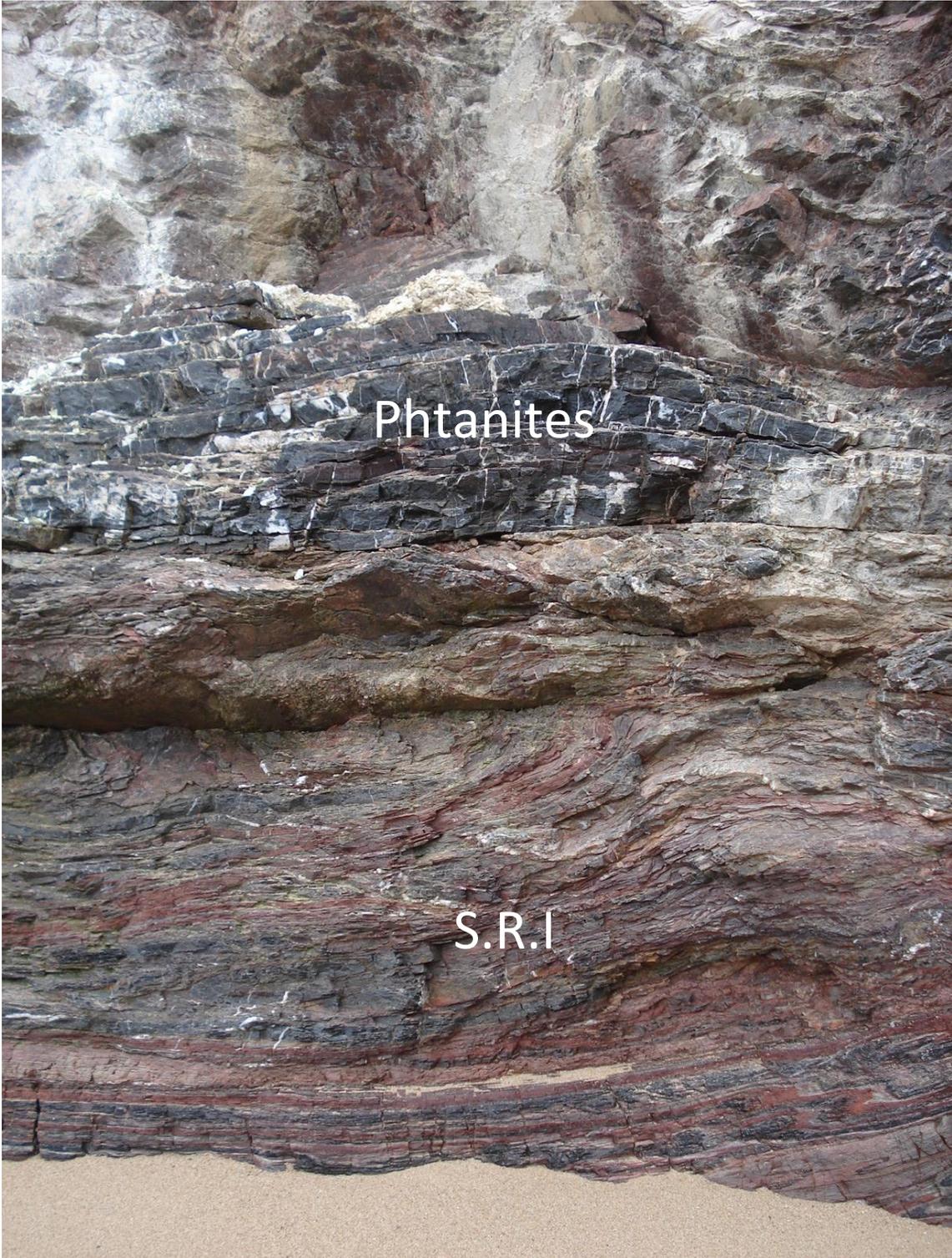


Photo 46 : Contact « Phtanites du Rocher de Sainte-Véronique » / Série Rythmique Inférieure



Photo 47 : Idem

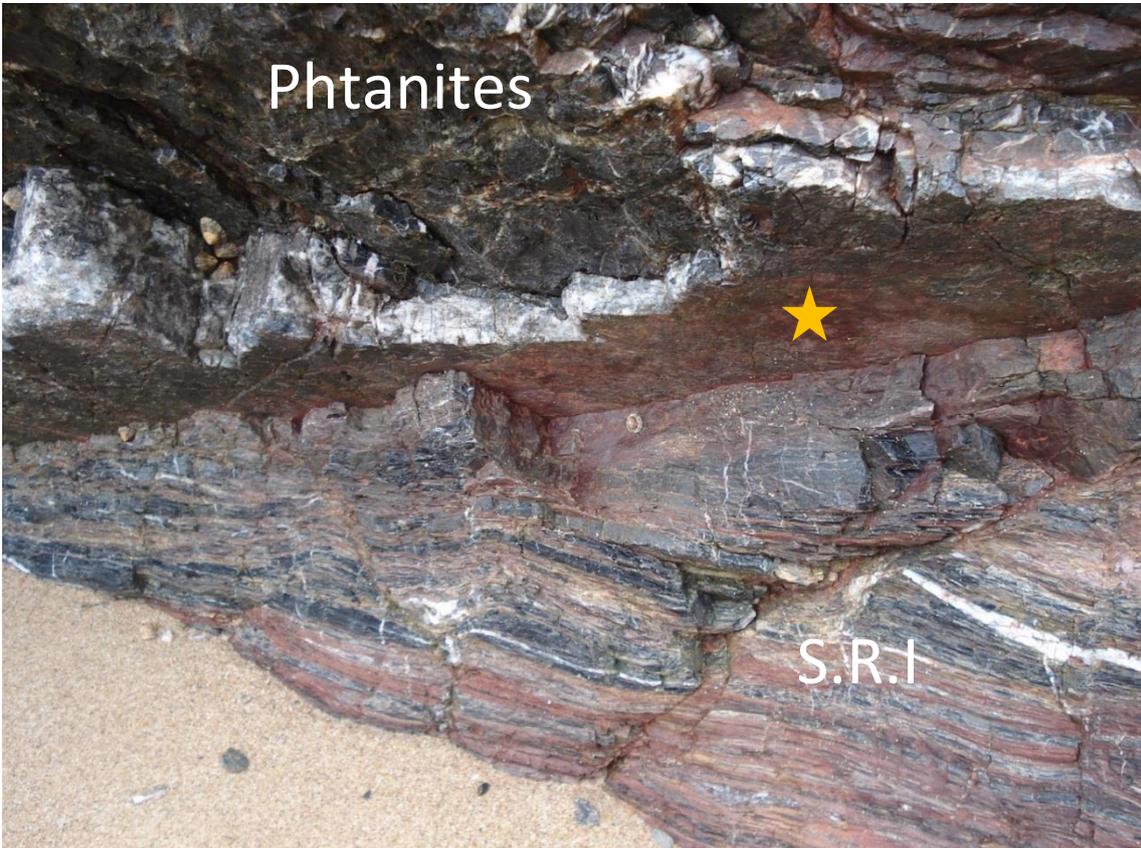


Photo 48 : Détail du contact précédent (à gauche de la photo 47)



Photo 49 : Détail du contact précédent (au milieu de la photo 47)



Photo 50 : Détail du contact à l'entrée de la Grotte du Four à Cateau

Le contact entre les « Phtanites de Sainte-Véronique » et la « Série Rythmique Inférieure » au niveau de la Grotte du Four à Cateau est un véritable contact tectonique.

Ce contact tectonique est souligné par l'individualisation de nombreuses écailles plus ou moins elliptiques séparées les unes des autres par des surfaces lisses, polies (★), plus ou moins parallèles à la schistosité et recouvertes par endroits de placages d'argile rouge indurée.

La Formation des « Phtanites de Sainte-Véronique » chevauche la S.R.I.

Remarque : Sur les surfaces de contact lisses et polies et qui sont des zones de cisaillement, comme de véritables miroirs de faille, on n'a pas trouvé de stries ou de rainures tectoniques permettant de déterminer la direction du chevauchement ni de « ressauts en escaliers » pour en préciser le sens.

➤ **Voir le lien ci-dessous avec animation**

<http://christian.nicollet.free.fr/page/TectoCassante/tectocassante.html>



Photo 51 : Chevauchement des « Phtanites de Sainte-Véronique » (surmontés par les arkoses blanches de la Formation des « Porphyroïdes de La Sauzaie ») sur la S.R.I.

Noter la différence de pendage entre les phtanites (à gauche) et la S.R.I (à droite) beaucoup plus redressée (Grotte du Four à Cateau).



Photo 52 : Niveau argileux entre deux écailles de phyllite (vue en coupe)



Photo 53 : Idem - Placage argileux rouge entre deux écailles de phyllites mais observé dans le plan de cisaillement (vue par-dessus)

◆ Mécanisme à l'origine de ce chevauchement

Le chevauchement pourrait être dû à un pli-faille ou faille de chevauchement.

Certains auteurs considèrent en effet que la Formation des Phtanites, en position inverse (flanc inverse), serait venue chevaucher la S.R.I en position synclinale.

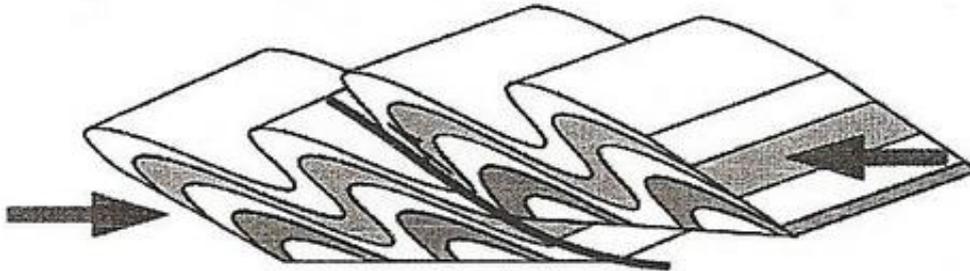


Figure 22

<http://theses.ulaval.ca/archimede/fichiers/24122/ch04.html>

Le frottement dû à ce déplacement aurait provoqué l'écaillage de la semelle de la Formation des « Phanites de Sainte-Véronique ».

A plus grande échelle, ce chevauchement a été provoqué par l'arrivée de la nappe des « Porphyroïdes de La Sauzaie ».

Cette nappe importante, dont l'épaisseur est estimée à 500 m environ et qui se déplaçait d'Est en Ouest, a pesé de tout son poids sur le substratum silurien. Sur sa bordure méridionale (région de Brétignolles), elle a alors fait « gicler » sur ses côtés, perpendiculairement à sa direction de déplacement et donc vers le Sud, des écailles siluriennes qui sont ensuite venues chevaucher la S.R.I et les dépôts flyschoides du Tournaisien-Viséen.

c) Description de la S.R.I au-delà de la Grotte du Four à Cateau



Photo 54 : Chevauchement des Phtanites sur la S.R.I (Phyllites vertes et jaunes) au niveau de l'estran



Photo 55 : Détail sur les phyllites vertes et rouges

♦ **Les nodules silico-phosphatés**

C'est dans ces nodules que M. TERS (1970) a découvert *Monograptus priodon* et *Monograptus cultellus* (Graptolites) qui lui ont permis de dater la « Série Rythmique Inférieure » (S.R.I) du Wenlock inférieur.





Photos 56 à 59 : Nodules silico-phosphatés de la S.R.I

Ce niveau à nodules phosphatés serait un indice de fin de sédimentation et marquerait par conséquent le sommet d'une séquence de dépôt.

Comme il se trouve non loin sous le contact chevauchant de la Formation des Phtanites sur la S.R.I, on peut donc en déduire que la S.R.I se trouve, elle, en position normale et non inverse.

♦ Les figures tectoniques

1) Figures de boudinage

http://www.geology.um.maine.edu/geodynamics/AnalogWebsite/UndergradProjects2005/HJT.ERS416_2005/HTML/naturalworld.html

Les figures de boudinage apparaissent dans les formations qui contiennent des inclusions ou des niveaux plus compétents que leur matrice.

L'étirement conduit alors au boudinage, c'est-à-dire à la segmentation de l'objet plus compétent en fragments : les boudins, qui s'allongent et s'alignent dans le plan (X,Y) de la déformation à la façon d'un chapelet de saucisses.

Lorsque le contraste est faible, il n'y a pas de rupture mais simplement une succession de ventres et de nœuds le long de la couche moins ductile, plus compétente.



**Photo 60 : Boudinage dans le plan de la schistosité (XY)
d'un galet de phyllite dans la S.R.I**

Le boudinage se fait dans la direction Est-Ouest (= X).



Photo 61 : Autres aspects du boudinage dans le S.R.I

- *En haut de la photo : nodule noir de forme fuselée (voir photo 62).*
- *En bas de la photo : boudins rouges découpés en « morceaux » ou « rods » isolés et à section losangique (voir photo 57).*

Le boudinage se fait toujours dans la direction Est-Ouest. Les boudins sont plus ou moins siliceux et entourés par une matrice phylliteuse.



Photo 62 : Détail de la photo 61

*Contraste de ductilité faible entre le constituant du nodule noir et la matrice (pas de rupture)
Structure « en pinch-and-swell » au-dessus à gauche (lentilles rouges répétitives)*



Photo 63 : Détail de la photo 61

Contraste de ductilité important entre le constituant du boudin et la matrice



Photo 64 : Autre exemple de boudinage avec contraste de ductilité fort

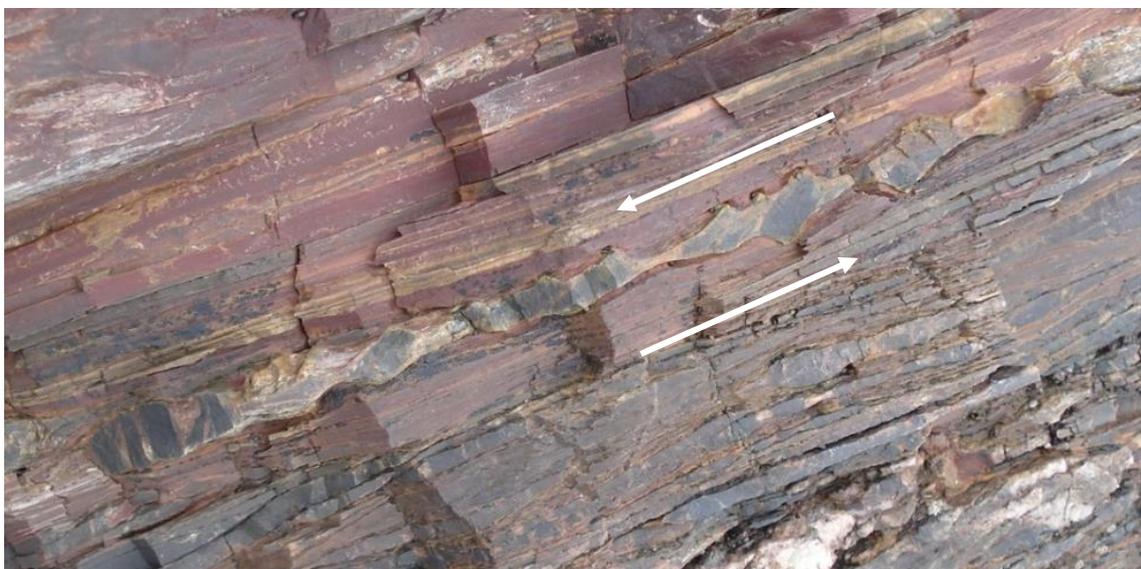


Photo 65 : Détail

Le découpage en rods losangiques, à grande diagonale inclinée par rapport à leur direction d'alignement (= plan de la schistosité), et leur disposition en marches d'escalier (tuilage), indiqueraient une déformation non coaxiale (ici, un cisaillement senestre).



Photo 66 : Détail d'un boudin avec « necks » de raccordement aux boudins voisins

La zone étirée entre les boudins compétents est remplie par fluage de la matrice et dépôt de minéraux de remplissage (quartz ?)

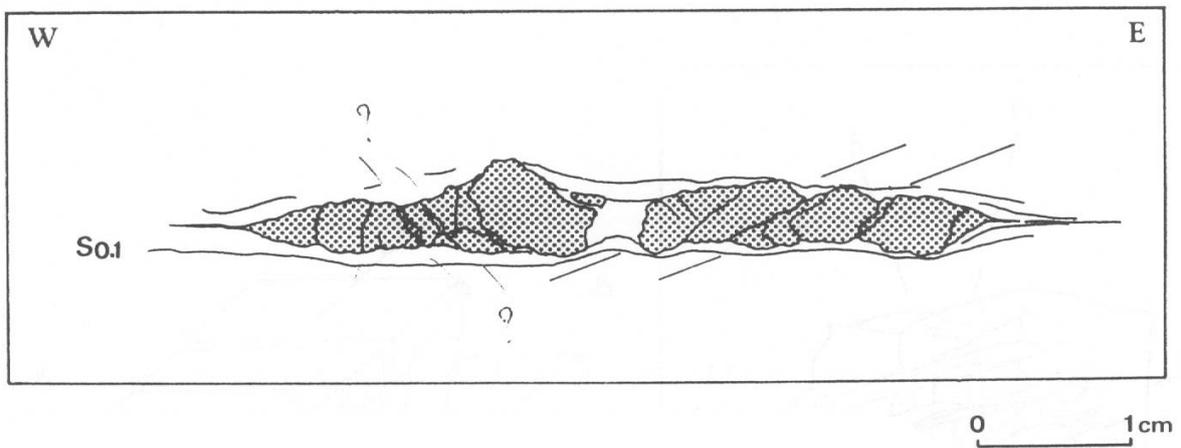
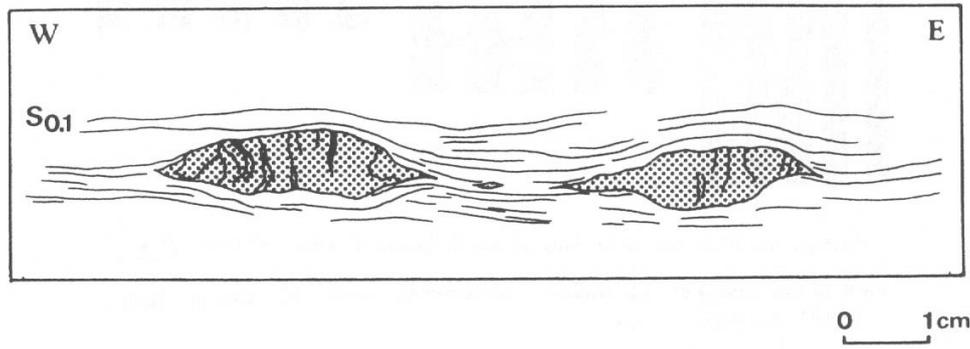


Figure 23 : Schéma montrant la disposition que les boudins adoptent dans le plan de schistosité (S.R.I)

Document Didier Poncet

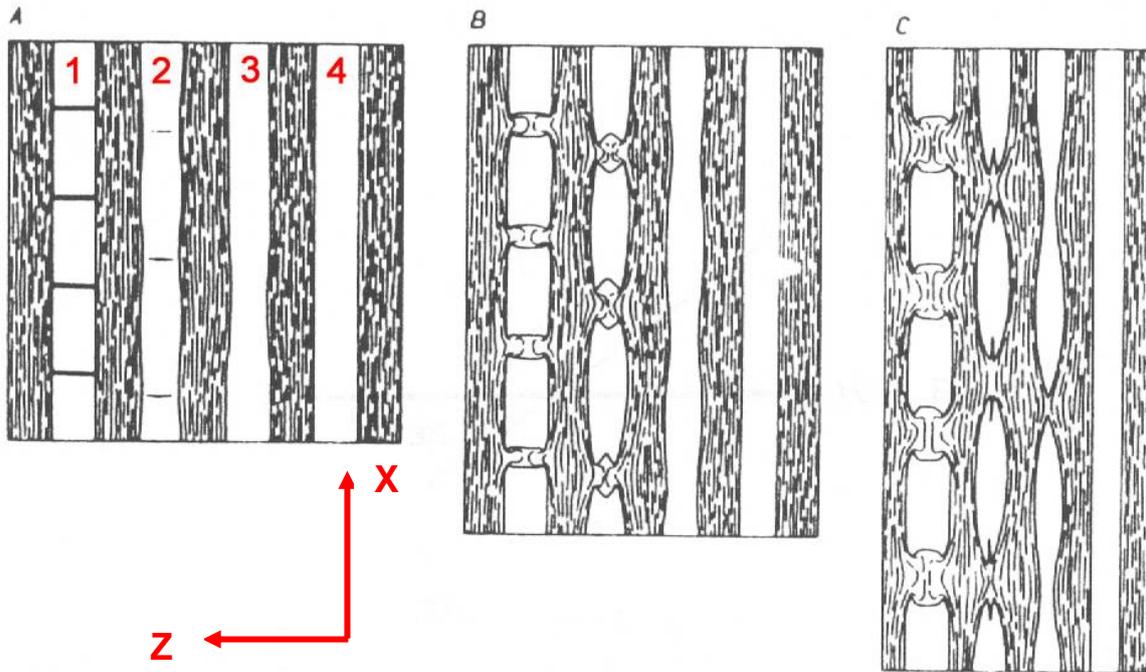


Figure 24 : Relation entre la géométrie des boudins (représentés en blanc) et le contraste de ductilité boudin-matrice (matrice en gris) lors d'une déformation croissant de la gauche vers la droite (de a à c)

Remarque : Le contraste de ductilité diminue du niveau 1 à 4.

Document Didier PONCET (d'après J. G. RAMSEY 1967)

Sur toutes les photos précédentes (61 à 66), les figures de boudinage ont été prises en coupe transversale (selon le plan XZ).

Mais sur les photos suivantes (67 et 68), on peut voir une même figure de boudinage mais cette fois-ci dans le plan de la schistosité (plan XY) donc de dessus.

Le boudin apparaît alors sous la forme de baguettes ou « rods », parallèles entre eux (en coupe transversale, chaque « rod » a une forme losangique), jointifs (c'est cet accolement qui explique l'aspect en chapelet des « rods ») et disposés en marche d'escalier (ce qui est la confirmation du tuilage).

On constate ainsi que le grand axe « Y » de ces « rods » fait un angle de l'ordre de 40° environ avec la direction d'extension principale « X » du boudin alors qu'il devrait être perpendiculaire à cette direction (voir figure 26).

Tout se passe donc un peu comme si les « rods » avaient pivoté de 50°, ce qui expliquerait qu'ils viennent ainsi plus ou moins se recouvrir (tuilage).

Une déformation non coaxiale a donc eu lieu : un cisaillement dextre selon une direction faisant un angle de 40° avec la direction d'extension du boudin, tout cela dans le plan XY de la schistosité.



Photo 67 : Figures de boudinage dans le plan de la schistosité (XY)

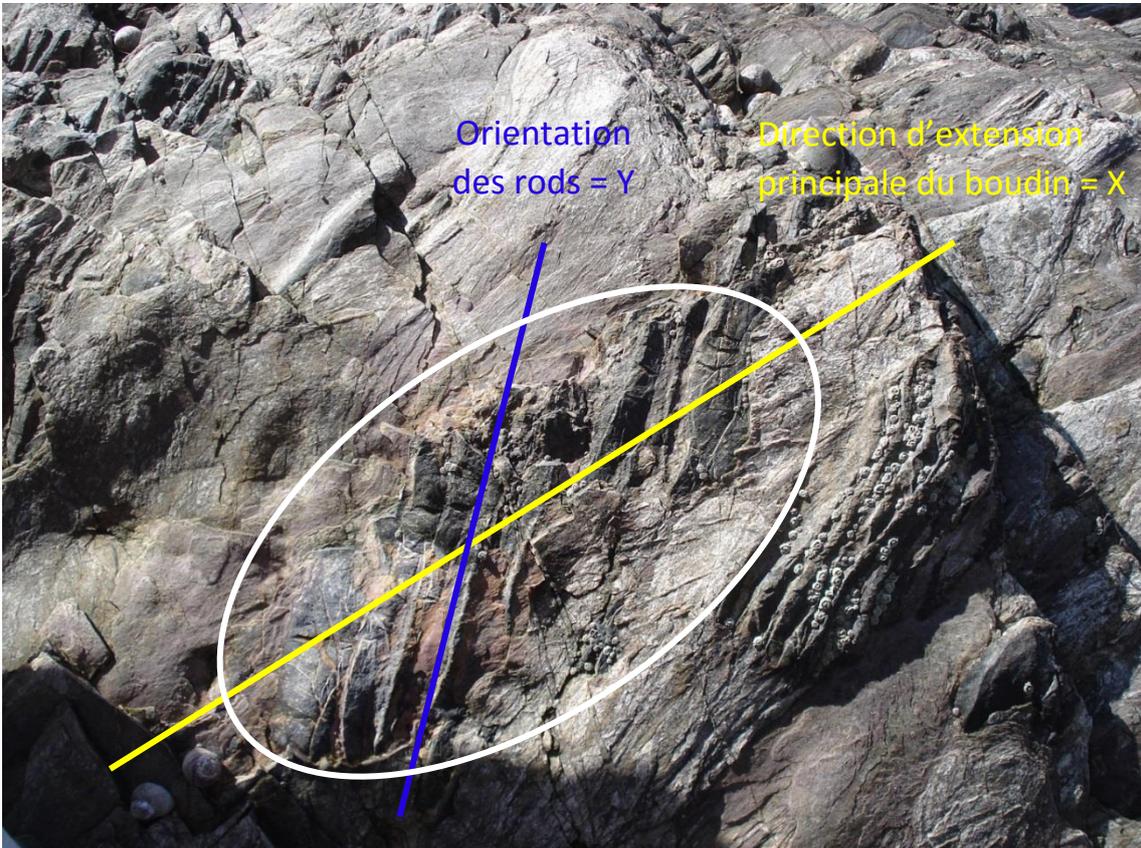


Photo 68 : Détail

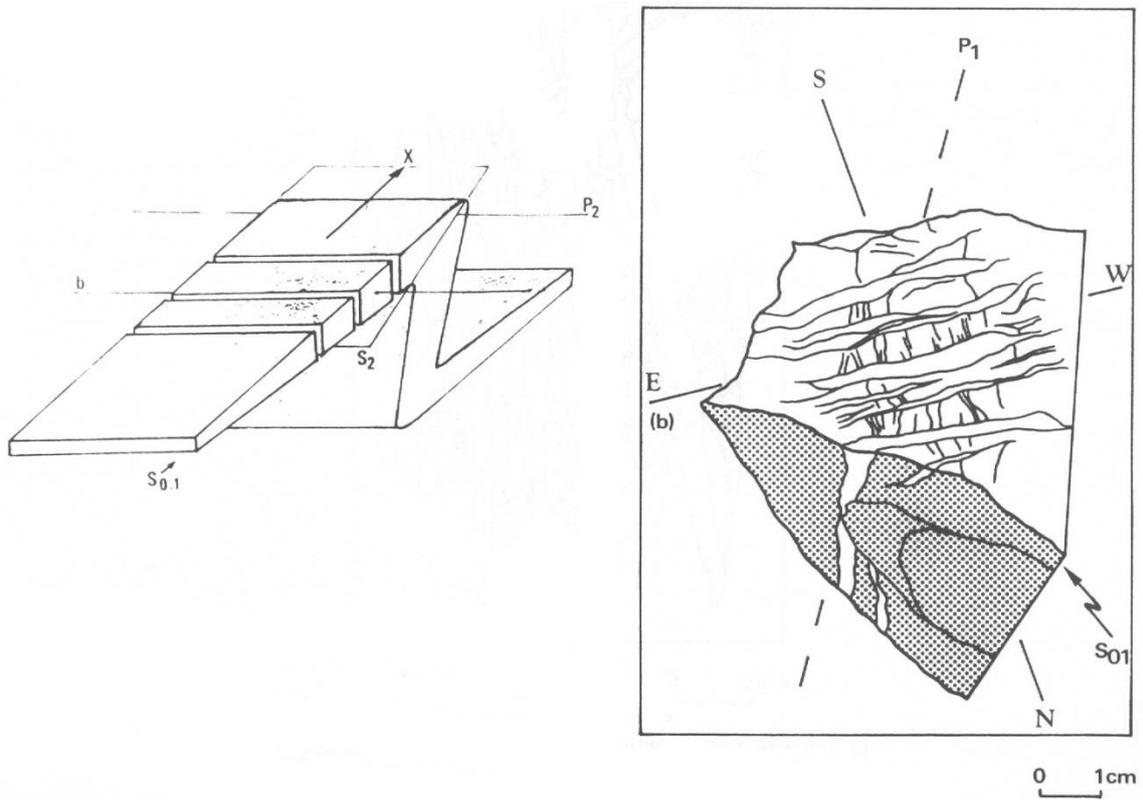
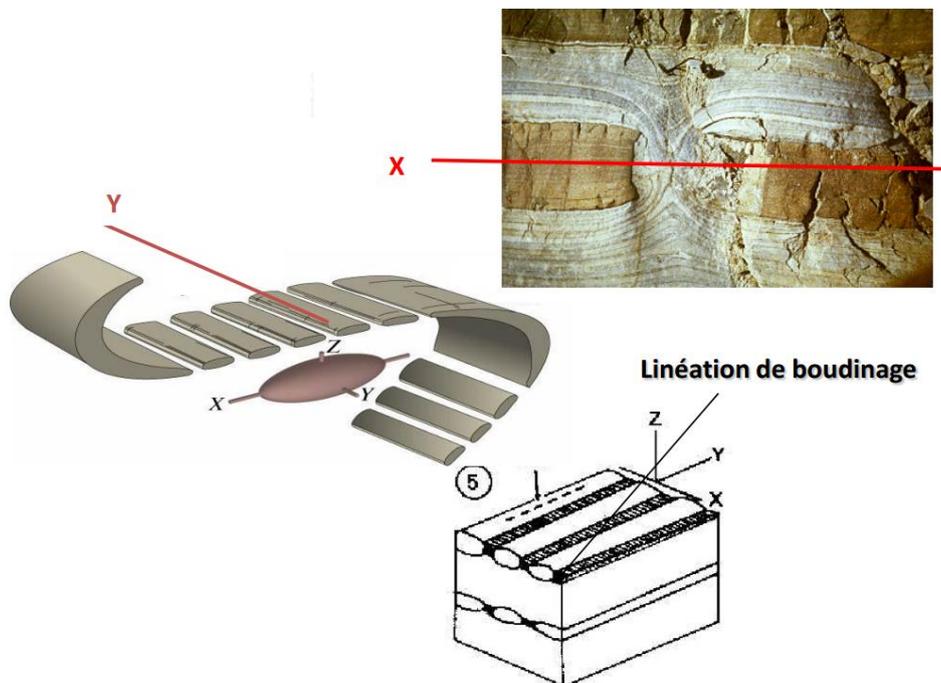


Figure 25 : Position de l'axe Y (ou b) des boudins par rapport à l'axe des plis P1 (?) et P2

Document Didier Poncet



J. Mercier & P. Vergely, Tectonique (Géosciences DUNOD, 1992)

Figure 26 : Idem

2) Figures « en tablette de chocolat »

Parfois, une fracturation sub-perpendiculaire à l'axe « Y » ou « b » des boudins peut se surajouter. On peut alors observer dans le plan de la schistosité un débit « en tablette de chocolat ».

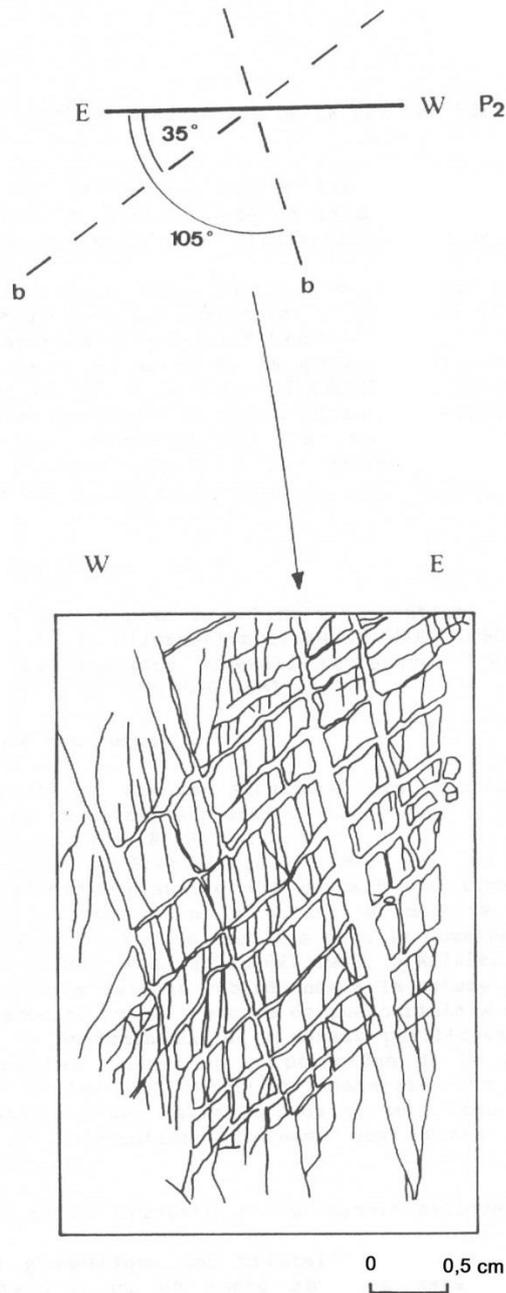


Figure 27 : Débit en « tablette de chocolat »

Deux directions de fragmentation apparaissent respectivement à 35° et à 105° de l'axe du pli P2 (S.R.I)

Document Didier Poncet



Photo 69 : Débit en « tablette de chocolat »

3) Linéation



Photo 70 : Linéation sur des phyllites de la S.R.I

4) Failles



**Photo 71 : Faille de l'estran de direction Est-Ouest (famille de failles F1)
à jeu senestre (voir figure 21)**

Le miroir de faille est faiblement penté et souligné de brèches.

La formation de droite qui le recouvre, plus pentée voire même très redressée comme au premier plan, vient chevaucher la formation de gauche.

Cela traduit un serrage Nord-Sud. Cette faille a valeur de faille inverse.



**Photo 72 : Faille de l'estran de direction NO-SE (famille de failles F2)
à jeu dextre (voir figure 21)**

Stries et cannelures sont bien visibles, disposées sur le plan vertical du miroir de faille et horizontales, parallèles les unes aux autres.



Photo 73 : Stries et cannelures sur le miroir de faille



Photo 74 : Brèche de la faille précédente (vue de profil)

La roche est fragmentée et recimentée ce qui lui donne l'aspect d'un filon de brèche.

◆ **Autres roches de la S.R.I**



Photo 75 : Ampélites

Remarques sur les ampélites :

- Portées à des conditions de T° et de P plus importantes, elles auraient pu être source de pétrole.

- Grasses au toucher, mécaniquement peu compétentes, elles ont certainement joué le rôle de « couches-savon » au moment de l'arrivée des nappes, favorisant ainsi le débit en écailles de la « Série métamorphique de Brétignolles-sur-Mer » et sa transformation en un ensemble à blocs et olistolites.

Argument à l'appui : Les ampélites affleurent à de nombreux niveaux de la série en présentant souvent un aspect en lanières.



**Photo 76 : Falaise avec d'importants niveaux d'ampélite
au Nord de la Pointe rouge**

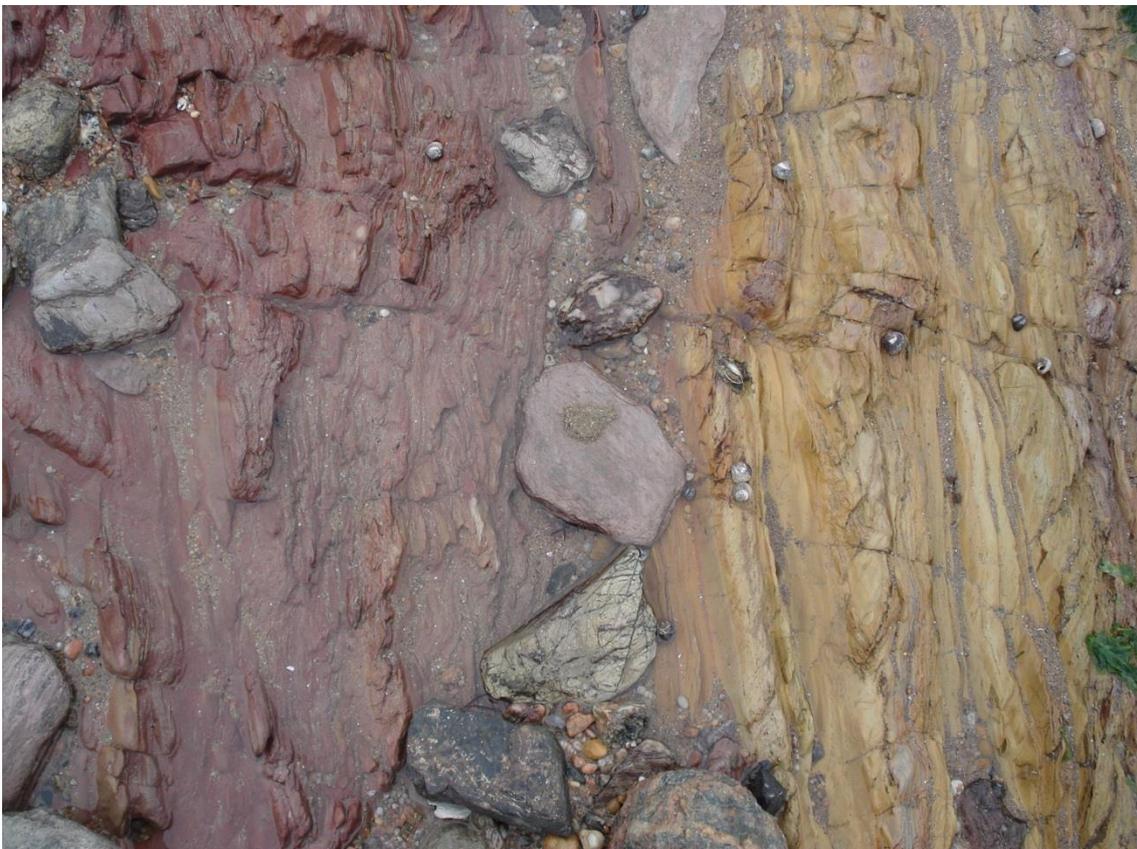


Photo 77 : Phyllites roses et jaunes



Photo 78 : Niveau à Phyllites jaunes



**Photo 79 : Cristaux de pyrite dans les phyllites jaunes,
indices d'un milieu réducteur**



Photo 80 : Alternance de niveaux phylliteux et arkosiques

NB : Ce niveau n'appartient pas en fait à la S.R.I ; elle appartient à la Formation des « Phyllites rosées » représentée en rose sur la figure 18 p. 55.

Le niveau fin (où est posée la main) ne montre aucune linéation.

En revanche, le niveau plus grossier, arkosique (au premier plan), montre une linéation minérale très nette Est-Ouest.

Il ne faut donc pas négliger l'observation des niveaux compétents quand on veut déchiffrer des déformations.



Photo 81 : Niveau ignimbristique à quartz rhyolitiques (?)



Photo 82 : Niveau gréseux

d) Environnement des dépôts au Wenlockien inférieur

Après le dépôt des radiolarites et argiles rouges en continuité avec celui des « Phtanites de Sainte-Véronique », la sédimentation devient plus variée dans la S.R.I.

A la sédimentation silico-argileuse, succèdent :

- tantôt une sédimentation vaseuse riche en matière organique (ampélites). La présence de matière organique suggère la proximité de terres émergées et des conditions réductrices (absence de courants par exemple) qui ont permis sa conservation. Cela explique aussi la présence de cristaux de pyrite dans les phyllites jaunes.

- tantôt une sédimentation plus grossière, arkosique ou gréseuse. Les cristaux de quartz rhyolitique présents dans les dépôts grossiers pourraient provenir de l'érosion des coulées rhyolitiques ordoviciennes du Bas-Bocage voisin (Bréthomé, Vairé...) (voir figure 9 page 13). Ils étaient apportés à la mer par des fleuves, des rivières... Un granoclassement pouvait avoir lieu (voir photo 80).

Au Wenlock inférieur, la région de Brétignolles-sur-Mer correspondait toujours à un domaine de plateau continental mais peut-être avec une tendance à l'isolement de la pleine mer (représentée par l'Océan centralien) et au comblement.



Photo 83 : Pointe des Ampélites (à droite) et Pointe rouge (à gauche)