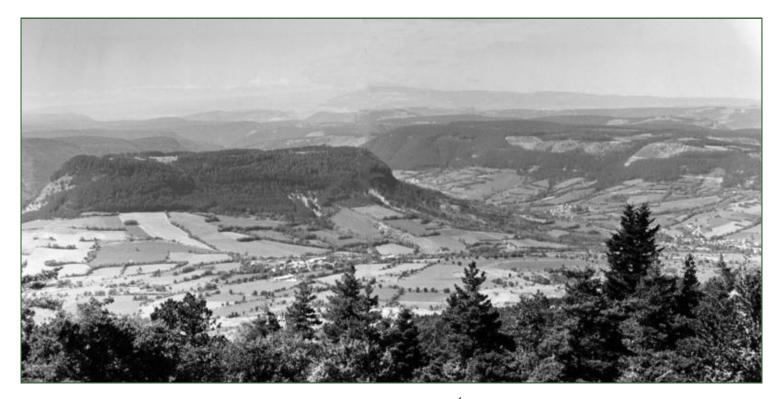
Réflexions sur la géologie du Valdonnez



Jean-Louis REILLE

Les mots soulignés attestent l'existence d'un lien.

En navigation, le retour à la page consultée se fera en tenant " alt + flèche gauche ".



Balduc, vu du Roc de l'Église

Remerciements

C'est un devoir bien agréable de remercier ici ceux qui m'ont aidé dans la rédaction de ce texte, dans la conception des figures, et qui ont y apporté les corrections toujours nécessaires.

Je veux parler de mon frère Maurice, à qui on doit notamment maints documents photographiques et questionnements pertinents, et surtout de ma belle-sœur Claudine qui a ramé laborieusement pendant de nombreuses heures pour mettre en page ce document (partie ingrate et interminable réclamant une virtuosité informatique qui lui est largement reconnue).

Je n'oublierai pas mon blond neveu Sylvain dont on a, notamment, utilisé la collection personnelle de fossiles du Valdonnez (dont il a hérité...) ainsi que les connaissances en informatique.

Que toutes celles et tous ceux qui découvriraient quelques erreurs, que nous espérons résiduelles (tant sur le fond que sur la forme), n'hésitent pas à nous en faire part ; d'avance nous les en remercions.

Jean-Louis Reille

| Avant-propos4 | |
|---|------------|
| Introduction6 | |
| 1. LE SOCLE HERCYNIEN | <u>6</u> |
| 1. 1 Les schistes métamorphiques 6 | |
| 1.2 Les granites 7 | |
| 2. LA DISCORDANCE POST HERCYNIENNE | 9 |
| 2.1 Sites d'observation9 | |
| 2.2 Position dans la topographie actuelle 9 | |
| 2.3 Signification | |
| 2.3.1 La super extinction massive de la fin du Permien 10 | |
| 2.3.2 L'extinction massive de la fin du Trias 12 | |
| 3. LA SÉRIE SEDIMENTAIRE DES CAUSSES | <u>13</u> |
| 3.1. L'HETTANGIEN | |
| Le conglomérat de base de l'Hettangien 14 | |
| La dolomie capucin | |
| La dolomie cubique | |
| 3.2 LE SINÉMURIEN | |
| 3.3 LE PLIENSBACHIEN | |
| 3.3.1 Le Carixien (Pliensbachien inférieur) 16 3.3.2 Le Domérien (Pliensbachien supérieur) 17 | |
| 3.4 LE TOARCIEN | |
| 3.5 L'AALÉNIEN | |
| Et les dinosaures ? | |
| 3.6 LE BAJOCIEN 24 | |
| 3.6.1 Le Bajocien inférieur 24 | |
| 3.6.1 Le Bajocien supérieur | |
| 3.7 Suite de la série sédimentaire des Causses 26 | |
| 4. COMMENT EN EST-ON ARRIVÉ AU STADE ACTUEL ? | 27 |
| 4.1 Et le grand canyon ? 28 | |
| 4.2 Des formation récentes périglaciaires 28 | |
| 5. EN GUISE DE CONCLUSION | <u> 30</u> |
| | |
| | |

<u>Illustrations</u>

<u>Notes</u>

Questions-réponses

AVANT PROPOS

Ces quelques lignes sont écrites en priorité à l'adresse de ceux qui ont eu le courage (et la déception) de venir à la causerie de fin août 2012 où je me proposai de présenter la géologie du Valdonnez. En la circonstance, un épuisement aussi brutal qu'imprévu, dû à des difficultés de santé, a eu raison de toute éloquence et m'a condamné, à défaut d'annuler in extremis la séance, à être insuffisant et fort ennuyeux. Quoique tardivement, j'en demande pardon à l'auditoire.

J'écris aussi pour tous ceux qui aiment le Valdonnez et se posent des questions à propos des terrains contrastés qu'on y rencontre et à propos de son histoire, entendue sur la très longue durée des temps géologiques. J'ai délaissé autant que possible le jargon fleuri des praticiens, afin d'être compris par tous ceux qui sont curieux de la chose sans avoir forcément transpiré dessus. C'est à eux que je voudrais m'adresser ici et non à une pincée de pères-la-Science. J'ajoute que rien ne me donne une autorité particulière pour aborder le sujet, en dehors de mon métier et de la manie d'enseigner qui m'a longtemps habitée. Aussi, mis à part le style et quelques lointains souvenirs, rien de ce que vous trouverez ici ne constitue une donnée originale, surtout pas à l'heure du Ouèbe.

Comme le texte, les figures sont libres de droits ; elles sont empruntées soit à la Wikimedia Foundation qui les diffuse sous licence libre, soit au remarquable Manuel de Paléontologie de Karl von Zittel, publié à la fin du XIXème et réédité au début du XXème siècle, et qui fait désormais partie du domaine public ; il peut s'agir aussi de documents personnels ou familiaux.

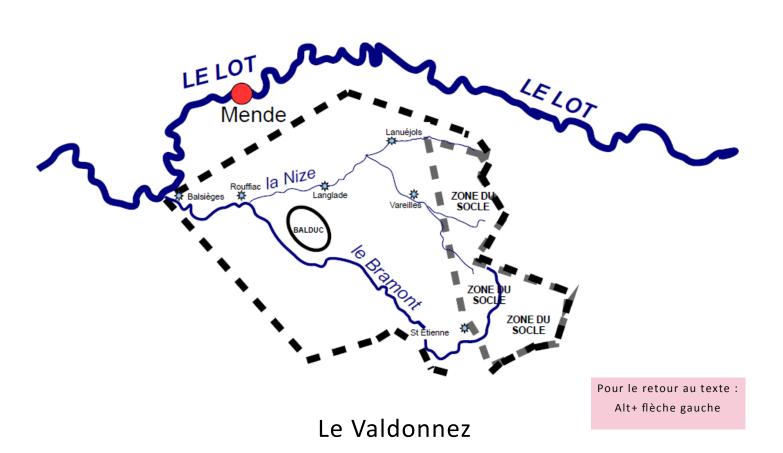
Enfin, une dernière remarque : le Valdonnez c'est charmant, mais extrêmement petit à l'échelle de la planète. Si, ici, je m'intéresse spécialement à ce minuscule pays, c'est par ce qu'il est une frontière entre le domaine des Causses et les hautes Cévennes ; à ce titre il a hérité du contraste qui oppose ces deux régions ; c'est aussi pour des raisons personnelles que je ne souhaite pas vous infliger.

INTRODUCTION

On sait aujourd'hui, avec certitude, que nous ne pouvons percevoir les objets qu'à travers le "filtre "étroitement attaché à notre " adaptation ". Je veux parler de l'adaptation (purement biologique) au milieu naturel qui entourait les humains ou leurs ancêtres, il y a fort longtemps, et sans laquelle nous ne serions pas là.

L'effet de " filtre " est particulièrement sensible pour tout ce qui concerne l'échelle de ces objets, qu'elle soit spatiale ou temporelle. Ainsi, pour l'échelle spatiale, seules nous sont facilement accessibles les choses que nous pouvons percevoir par nos sens et qu'on peut comparer à notre taille moyenne : on dira volontiers que les montagnes sont " grandes " et que les fourmis sont " petites "; en revanche, la distance qui nous sépare de la proche galaxie d'Andromède¹, de même que la dimension des particules subatomiques² sont pratiquement impossibles à concevoir intuitivement. Pour l'échelle temporelle, nous ne sommes directement sensibles qu'aux durées qu'on peut mettre en rapport avec la durée moyenne de la vie humaine : on dira par exemple que Charlemagne (env. 747-814) a régné dans des temps anciens, et que Clémenceau (1841-1929) fut, à une époque relativement récente, un président du Conseil ; alors que nul ne peut avoir l'intuition directe de ce que présentent un million d'années ou une nanoseconde³.

En outre, on constate bien souvent que les lois qui semblent régir les phénomènes (et qui ne sont que des créations de notre esprit), changent en fonction de l'échelle à laquelle on travaille. Or, quand on pratique la géologie (y compris dans le Valdonnez), il faut sans cesse travailler à différentes échelles, dont la plupart ne nous sont pas familières ; c'est une source de difficultés. Sauf exceptions, on a affaire à de grands objets (les Causses, les massifs de granite du Mont Lozère, la paléogéographie de l'Europe à l'Hercynien...), ainsi qu'à de très longues périodes chronologiques (plusieurs millions à plusieurs dizaines de millions d'années).



1. LE "SOCLE " HERCYNIEN

Dans la partie orientale du <u>Valdonnez</u>, on rencontre des terrains anciens, affectés en profondeur par l'<u>orogénèse</u>⁴ hercynienne (laquelle eut lieu ici, il y a <u>grosso modo</u> trois cent dix millions d'années = 310 Ma). Selon le modèle théorique de la "tectonique des Plaques" <u>l'orogenèse hercynienne</u> est due à la collision de deux supercontinents : la **Laurasia** et le **Gondwana**, entraînés l'un vers l'autre par une dérive convergente des fonds océaniques. Leur réunion, liée à la fermeture d'un océan ancien, a donné la <u>Pangée</u>. Les terrains anciens concernés sont actuellement essentiellement métamorphiques et granitiques, car ils ont été érodés, postérieurement à leur formation, jusqu'à des niveaux relativement profonds. De plus, ils sont devenus <u>rigides</u>⁵ et ils forment actuellement une sorte de plancher qui supporte les <u>terrains sédimentaires</u>⁶ des Causses, nettement plus jeunes. Pour ces derniers, les terrains anciens, formés par l'orogenèse hercynienne, constituent <u>un socle</u>⁷ à la manière du socle d'une statue. Entre les terrains anciens et ceux plus récents, existe une <u>discordance</u>⁸ majeure dite discordance post hercynienne.

1.1 LES SCHISTES METAMORPHIQUES (MICASCHISTES)

À Vareilles même, ainsi qu'en plusieurs autres points du Valdonnez, on peut observer facilement des micaschistes qui montrent, notamment, deux variétés de micas : le mica blanc et le mica noir (dont les compositions chimiques diffèrent). Ces micas témoignent des conditions approximatives de température et de pression responsables d'un certain degré de métamorphisme soncerné est désigné communément par l'expression (plutôt malheureuse) de "faciès schistes verts qui affleurent aux environs de Vareilles .

Un coup d'œil sur le diagramme <u>Température-Pression</u> montre **le domaine** (au sens physique du terme) correspondant au "faciès schistes verts". Il montre, dans sa partie centrale, une pression voisine de 6 kilobars (= 0,6 mégapascal : profondeur d'environ 20 km), et une température d'environ 400° C (plus élevée que la température de fusion du plomb).

De telles conditions, qui s'aggravent en gros du sud vers le nord dans l'ensemble des Cévennes pour atteindre une intensité notable dans les environs du Valdonnez, ne prévalent évidemment pas à proximité de la surface de notre planète.

L'épaisse série géologique soumise au métamorphisme hercynien appartient au vaste ensemble actuellement connu sous le nom de "schistes des Cévennes". À l'origine, c'était probablement une série sédimentaire marine, épaisse de plusieurs milliers de mètres, essentiellement constituée par des argiles mélangées à des poussières de quartz, avec quelques intercalations de sable quartzeux. Comme elle ne contient pas de fossiles, elle est difficile à dater. On lui attribue (indirectement) un âge ancien qui remonterait au début de l'ère primaire (Cambrien-Ordovicien, en gros 550-400 millions d'années).

D'une manière générale, l'absence de traces, ajoutée a l'intensité de la déformation par compression, rend hasardeuse toute tentative de reconstitution objective du milieu de dépôt. On peut supposer (sans grand effort) qu'il s'agit d'anciens sédiments marins banals, déposés au large d'une zone continentale conjecturale, en toute hypothèse située fort loin de la <u>localisation géographique actuelle</u>. Les derniers stades de la fermeture de l'océan, qui devaient aboutir a la collision responsable de la formation de l'énorme Chaine hercynienne (fig. 2), ne sont survenus que longtemps après le dépôt de cette série sédimentaire.

1. 2 LES GRANITES

Dans la partie orientale du <u>Valdonnez</u>, les granites (qui constituent le Mont Lozère) se partagent, avec les micaschistes, environ la moitié des affleurements du socle cristallin.

À la différence des roches métamorphiques (qui prennent naissance à l'état solide), les granites proviennent du refroidissement et de la recristallisation, de masses de roches fondues ou <u>magma¹¹</u>. La température de fusion des magmas granitiques est approximativement comprise entre 650°C (granites avec un excès d'eau) et 950°C (granites "secs"). La fusion des roches est due à l'augmentation de température qui accompagne toujours la collision des masses continentales. Cette augmentation de la température est progressive (dans le temps, à l'échelle géologique) ; elle est d'abord responsable du métamorphisme (état solide contemporain de la compression) puis du magmatisme (fusion, généralement postérieure à la compression).

La question qui vient immédiatement à l'esprit est " combien de temps faut-il pour qu'un massif granitique de taille moyenne se refroidisse complètement ? À cette excellente question, je répondrai, à l'exemple d'un prédécesseur célèbre "un certain temps". On ne dispose en effet, à ma connaissance, d'aucun critère objectif pour y répondre ; tout au plus peut-on supposer (théoriquement) que les périodes en cause sont à l'échelle des temps géologiques, à savoir un à quelques millions d'années.

À l'échelle régionale, les granites du type Mont Lozère (de même que celui de la Margeride) se sont assez mystérieusement mis en place au sein des micaschistes métamorphiques des Cévennes, dont l'observation sur le terrain montre en maints endroits qu'ils les recoupent. Ils leur sont donc, de manière indubitable, chronologiquement postérieurs.

En fait, dans le Mont Lozère, il existe plusieurs massifs granitiques juxtaposés, que leur composition minéralogique permet de distinguer.

Parmi eux, le plus occidental est le "granite des Laubies", bien visible dans la partie orientale du Valdonnez; c'est le seul qui y affleure et dont nous parlerons. Il fournit d'ailleurs la plupart des gros galets cristallins ovoïdes de la Nize et du Bramont, galets qu'on retrouve souvent dans les murs.

On le reconnait facilement (notamment en galets) à sa teinte d'ensemble très claire (gris presque blanc, tirant souvent sur le rose pâle). Il est fréquemment moucheté par des minéraux sombres qui résultent de l'altération de la cordiérite conservant sa forme prismatique originelle. Sa composition minéralogique moyenne (selon la notice de la carte) se situerait autour de 28% de quartz, 30% de feldspath dit potassique, 30% de feldspath dit calco-sodique et enfin 12 % de minéraux divers dont la cordiérite altérée (sombre, 4%), le mica noir (sombre, 6%) et le mica blanc (clair, 2%).

La présence de la cordiérite, altérée ou non, n'est pas très courante dans les granites. Sa formule chimique globale (Al₃Mg₂AlSi₅O₁₈) la donne pour un silicate alumino-magnésien, lequel marque un excès d'aluminium dans la composition chimique globale du magma originel. Bref, vous en aurez sans doute déduit que le granite des Laubies fait partie de la catégorie des granites hyper alumineux (on dit "peralumineux", pour faire branché). Tout ceci pour dire qu'il pourrait provenir de la fusion de roches riches en argiles, ce qui correspond bien à la composition de la série sédimentaire originelle des schistes des Cévennes.

Comme tous les granites de la région, le granite des Laubies est intrusif dans les micaschistes, c'est-à-dire qu'il les recoupe (comme à l'emporte-pièce), prouvant ainsi qu'il leur est chronologiquement postérieur.

Quel est son âge ? À ma connaissance, il n'y a pas eu de datation radiochronologique sur cette roche précise, mais les résultats mentionnés pour les autres granites du mont Lozère par la carte géologique de la France à l'échelle de 1/50 000 (feuille de Génolhac, 1981) font état d'âges de -285 +/- 15 Ma pour le granite du Bougès et de -281 +/- 11 Ma pour le granite du sommet de Finiels. Comme il est raisonnable de supposer un âge voisin pour le granite des Laubies, on se retrouverait finalement avec des mesures très tardives qui semblaient poser problème aux géologues, au moins en 1981 et selon la notice de la carte. Il y avait problème dans la mesure où <u>l'échelle stratigraphique internationale</u> place ces âges dans le Permien inférieur, période au cours de laquelle les événements liés à la mise en place de la chaîne hercynienne sont supposés terminés. En effet, le magmatisme générateur des granites ainsi que tous les autres mécanismes géologiques hercyniens sont, en général, réputés d'âge carbonifère supérieur et non permien.

En revanche, quinze ans plus tard, de nouvelles datations (Najoui et al. 1996) ont fourni pour les granites du Lozère un âge voisin de 300 Ma, ce qui correspond bien à la fin du Carbonifère. Cette conclusion est confortée par une publication nettement plus récente, laquelle fait état d'un âge voisin de 303 Ma pour la mise en place et le refroidissement des granites du Sud du Massif Central (S. Brichau et al. 2008).

Enfin, au mois d'avril 2013, l'article de Wikipédia consacré au Mont Lozère affirme (sans toutefois citer de sources) : "La mise en place du pluton granitique est datée à environ 310-315 Ma (datation sur monazite, zircon du pluton ou micas du métamorphisme de contact)". De tels datages correspondent une fois de plus au Carbonifère supérieur.

2. LA DISCORDANCE POST HERCYNIENNE

2.1. SITES D'OBSERVATION

Après le Carbonifère supérieur, l'érosion complète de la chaîne hercynienne a donné naissance à une <u>pénéplaine¹²</u> et a amené à l'affleurement des niveaux autrefois profonds (schistes métamorphiques et granites). Ces niveaux profonds (totalement refroidis) seront, longtemps après, recouverts par une mer peu profonde. Cette mer commencera par déposer, sur la morphologie très plate et subhorizontale de la pénéplaine post-hercynienne, des sédiments attribués au tout début du Jurassique (Hettangien, env. 200 Ma). Entre les terrains hercyniens profonds (et érodés) et la première strate de l'Hettangien existe, dans toute la région, une surface de discontinuité qu'on appelle "discordance post-hercynienne". La discordance post-hercynienne, à ma connaissance, n'est pas spectaculaire en Valdonnez. En revanche, elle s'observe remarquablement en maints autres sites régionaux. On en retiendra quatre :

- 1/ <u>Le site du Pompidou</u>, à <u>l'ouest du Pompidou</u>, nulle part, la discordance post-hercynienne n'est aussi évidente que dans ce panorama au-dessus et à l'ouest du Pompidou.
- 2/ <u>Le site de Barre-des-Cévennes</u>, au sud de Florac, où les micaschistes métamorphisés à l'Hercynien sont surmontés par des dépôts détritiques grossiers, représentant la base de l'Hettangien (dont la suite est constituée par des calcaires magnésiens).
- 3/ <u>Le site de la route Mende-Bagnols les Bains</u>, en amont de Ste Hélène. On y voit le granite de la Margeride (érodé) surmonté par quelques strates de "dolomie capucin" (Hettangien).
- 4/ <u>Le site de la nationale 88</u>, de Mende au Puy, non loin de Pelouse. On y voit le granite de la Margeride surmonté par des sables représentant des anciennes "arènes" d'altération du granite, elles-mêmes surmontées par des niveaux hettangiens.

2.2. POSITION DANS LA TOPOGRAPHIE ACTUELLE

On remarquera que la discordance post-hercynienne, réputée correspondre à une morphologie plane et à peu près horizontale au début du Jurassique, se trouve en fait, actuellement tantôt à mi-hauteur des collines, à des altitudes (sites 1,2,4), tantôt au fond des vallées (site 3). Cette position changeante est due à des déformations **postérieures** à la genèse de la pénéplaine et au dépôt des terrains jurassiques ; il s'agit soit (A) de basculements d'assez faible intensité, soit (B) de failles attribuables pour la plupart, à la grande phase régionale de distension oligocène (phase par ailleurs responsable de l'apparition de la Méditerranée occidentale et de l'effondrement de la partie de la chaîne pyrénéenne antérieurement située entre la Catalogne et le méridien de Nice).

(A) Ainsi, dans le site de Barre-des-Cevennes, la discordance se trouve à l'altitude approximative de 1 000 m, alors que de l'autre côté de la vallée du Tarnon, à l'ouest de Salgas, on la rencontre seulement à 720 m d'altitude. Dans ce cas précis, en l'absence de <u>faille de rejet notable¹³</u>, la composante ouest du pendage général des terrains (inférieure à 3°), se trouverait seule en cause. D'une manière analogue, au niveau de St Laurent-de-Trèves, la discordance se trouve à l'altitude approximative de 870 m, alors que de l'autre côté de la vallée du Tarnon, à la source de Vernagues, on la rencontre seulement à 720 m d'altitude. La composante ouest du pendage général des terrains, plus marquée que dans le cas précédent, y reste toutefois inférieure à 7°.

(B) En revanche, au niveau du <u>col</u> de Montmirat la discordance post-hercynienne s'observe à l'altitude d'environ 1 000 m, alors qu'à très peu distance de là, au niveau du <u>village</u> de Montmirat, elle se trouve en profondeur, à une altitude bien moindre, sous la série des terrains sédimentaires jurassiques du Valdonnez, épaisse de plusieurs centaines de mètres. La cause de cette disposition est à rechercher dans le rejet vertical de la faille dite "de Montmirat", accident cassant probablement apparu lors de la distension d'âge oligocène, et qui affecte l'ensemble de la série des Causses et son substratum (couverture sédimentaire et socle). Cette faille met ainsi côte à côte les schistes métamorphiques (profonds et anciens) appartenant au socle, et les niveaux de dolomie jurassique (plus récents et d'origine marine) du Causse de Sauveterre.

2.3 SIGNIFICATION

Entre le métamorphisme (micaschistes) ou le plutonisme (mise en place des granites) hercyniens, et le dépôt des premières strates marines du Jurassique, il s'est déroulé environ cent millions d'années qui ne sont, localement, représentées par aucun objet géologique. C'est comme s'il manquait, dans votre bibliothèque, dix-sept volumes d'une encyclopédie qui en compte cent. On passerait directement du volume 47 au volume 64 sans rien entre les deux. Le vide absolu (mais non perceptible) qui sépare partout les niveaux du socle déformé, de la première strate du Jurassique inférieur mérite d'être un objet de méditation. Car il s'est passé, pour les êtres vivant sur l'ensemble de la planète, des événements dramatiques pendant les cent millions d'années concernées. Ce sont, notamment, les deux extinctions massives de la fin du Permien et de la fin du Trias.

2.3.1 La "super "extinction massive de la fin du Permien

L'encyclopédie Wikipédia précise (à peu de chose près): " L'extinction Permien-Trias ou extinction permienne est une extinction massive survenue il y a environ 252 millions d'années (Ma). Elle délimite la période géologique du Permien et celle du Trias, donc la limite entre l'ère primaire et l'ère secondaire. Cette extinction est marquée par la disparition de 95 % des espèces marines et de 70 % des espèces vivant sur les continents, ce qui en fait la plus grande extinction massive ayant affecté la biosphère ".

Les travaux des paléontologues ont effectivement mis en évidence, depuis longtemps, l'importance inégalée de l'extinction permienne, sans en analyser les causes possibles, faute d'accès aux principales zones d'observation (URSS-Chine continentale pour des raisons politiques, Groenland-Antarctique pour des raisons pratiques), et faute de moyens d'investigation techniquement adaptés.

À cause de cela, les causes de la crise permienne n'ont été étudiées intensément (elles le sont encore), que postérieurement à celles de la crise biologique Crétacé-Tertiaire qui a vu la fin des dinosaures, il y a soixante-cinq millions d'années. On admettra que la popularité phénoménale de ces grosses bêtes, ajoutée à celle de la météorite de Chicxulub y sont pour beaucoup.

Pour ce qui concerne les causes possibles de la catastrophe biologique permienne, les candidatures sont très nombreuses et fort variées. Plusieurs pages seraient nécessaires pour citer les publications relatives à ce sujet, apparemment juteux. Sans entrer dans le détail des discussions passionnées qu'il suscite encore, nous retiendrons les hypothèses les plus en "vogue", au moins actuellement.

1/ La première (et la plus importante) serait une révolution climatique majeure qui aurait affecté l'ensemble de la planète. En froid ou en chaud ? Aux toutes dernières nouvelles, il semblerait que ce soit en très chaud (ce qui n'exclut pas, au commencement, un "bref" épisode de l'ordre du siècle, très sombre, et catastrophique pour la végétation).

En effet, une publication sino-britannique (Yadong Sun et al. 14, 2012) parue en octobre 2012 dans la célèbre revue "Science" fait état de paléotempératures de l'ordre de 50 à 60°C au sol (!) dans les régions équatoriales, avec une température moyenne (apparemment stupéfiante) de 40°C à la surface de l'océan, et ce, continûment pendant plus de 5 millions d'années (fin extrême du Permien et Trias inférieur). Les paléotempératures ont été mesurées par la méthode (longuement éprouvée) des rapports isotopiques de l'oxygène 180/16O appliquée, en l'espèce, à 15 000 articles de Conodontes 15 (excusez du peu). Quand on connaît la longueur des opérations d'extraction, la taille moyenne desdits articles (1 x 0,20 mm) ainsi que l'extrême minutie qui doit accompagner toute étude isotopique, on est saisi par l'énormité du travail.

Conséquence des températures démentielles ainsi mises en évidence, on peut soupçonner l'existence, en ces temps-là, d'une gigantesque "zone morte" dans l'océan mondial entre les deux tropiques. Pour faire bonne mesure, on citera deux publications antérieures à 2012, mais faisant état de hautes températures à ces époques : les travaux américano-australien (Retallac et al.¹⁶, 2011) et helvético-norvégien (Galfetti et al.¹⁷, 2007), intéressant respectivement l'Australie et les hautes latitudes boréales.

- **2**/ La cause de ce changement climatique dramatique serait à rechercher dans des **épanchements volcaniques positivement monstrueux** (mais, heureusement pour nous, rares dans l'histoire de la terre), qui ont donné naissance aux immenses "trapps¹⁸" de Sibérie. Pour donner une idée de la chose, signalons que les trapps de Sibérie¹⁹ couvriraient près de quatre fois la surface de la France et représenteraient un volume de basalte d'environ sept millions de milliards de m³ (7x10⁶ km³) ce qui laisse supposer une pollution extraordinairement massive de l'atmosphère à l'époque de leur mise en place, c'est à dire à la fin du Permien.
- 3/ On admet communément qu'un malheur n'arrive jamais seul. Il est tout à fait possible que l'augmentation de température consécutive à une injection massive de CO₂ volcanique dans l'atmosphère, ait suffi pour décomposer les <u>hydrates de méthane²⁰</u> océaniques, libérant les <u>masses impressionnantes de méthane qui y étaient emprisonnées.</u> Comme on sait que le méthane est un redoutable gaz " à effet de serre ", il n'est pas difficile d'imaginer une augmentation additionnelle notable de la température globale de la planète, liée à un tel phénomène, pour aboutir aux valeurs très hautes relevées par les travaux récents (principalement). Cette thèse est, notamment, défendue par un chercheur britannique* d'après son étude géologique minutieuse des terrains permiens du Groënland.
- *(P. B. Wignall, cosignataire de la publication sino-britannique déjà citée, note 14).
- 4/ On peut aussi considérer bien d'autres causes, indépendantes des précédentes, et pouvant d'ailleurs s'y adjoindre pour contribuer à une extinction biologique massive.
- Ainsi, à la fin du Permien, la réunion occasionnelle des continents en un seul supercontinent : la "Pangée" (Wegener²² 1912) a fini par réduire (progressivement mais notablement) l'étendue des zones côtières et des "plateaux continentaux "peu profonds où vivaient (et vivent encore aujourd'hui) la plupart des espèces marines.
- Ajoutons à ce qui précède (et tout à fait indépendamment) une **baisse générale du niveau de l'océan** mondial, attribuée par les spécialistes à une diminution considérable de l'activité des zones de " dorsales ". Quand certains auteurs évoquent une baisse maximale d'environ 600 m (!), et qu'on sait par ailleurs que la profondeur moyenne des " plateaux continentaux " est de 300 m, toutes sortes de conditions se trouvent réunies pour expliquer une extinction massive des espèces marines.

Conséquence de ce qui précède, d'autres auteurs envisagent une " <u>anoxie²³</u>" généralisée du milieu marin, accompagnée d'un dégagement massif de sulfure d'hydrogène, gaz mortel, susceptible de se manifester hors de la mer (voir les sangliers sur les plages bretonnes).

- D'autres encore évoquent une pollution atmosphérique d'origine volcanique (non moins mortelle) par le mercure (Sanei et al.²⁴ 2012).
- Enfin, que les amateurs de **météorites géantes** se rassurent : l'éclipse (heureusement temporaire) de tels objets dans la crise permienne a déjà été contredite (<u>Becker et al.</u>²⁵ 2004).

Etc., etc. Dans ces conditions, on ne manquera pas de remarquer que le célèbre " <u>rasoir</u> <u>d'Ockham</u> ²⁶ " brille par son absence.

2.3.2 L'extinction massive de la fin du Trias.

L'extinction de la fin du Trias est une extinction massive qui s'est produite il y a environ 200 Ma. Quoique moins catastrophique et moins fameuse que celle de la fin du Permien, elle est néanmoins aussi importante que celle du Crétacé-Tertiaire qui entraîna la disparition des dinosaures. La diversité biologique globale en fut, tout de même, diminuée de moitié.

Elle s'est produite à peu près au moment où la Pangée s'est fracturée. Actuellement, on n'en connaît pas la cause exacte mais elle peut être due à la conjugaison :

- d'un **changement climatique graduel** ou de fluctuations du niveau de la mer, mais ceci n'explique pas les disparitions marines ;
- d'un ou plusieurs impacts d'astéroïdes, mais aucun grand cratère d'impact ne coïncide pour cette période (au moins présentement) ;
- à une **super-éruption volcanique (fissurale)** qui aurait entraîné un fort réchauffement climatique global, par dégagement massif de CO₂: l'ouverture de la province magmatique centre atlantique semble en être une des causes les plus plausibles.

Cette extinction a permis, notamment, l'explosion radiative des dinosaures en libérant nombre de " <u>niches écologiques²⁷</u> ".

3. LA SÉRIE SEDIMENTAIRE DES CAUSSES

3.1 L'HETTANGIEN

 $(199,6 \pm 0,6 - 196,5 \pm 1,0 \text{ Ma} = 3,1 \pm 1,6 \text{ Ma}).$

Pour se repérer dans <u>les temps géologiques</u>, les géologues utilisent, depuis près de deux siècles, **une échelle** (relative) non numérique dont les "barreaux "sont affublés de noms bizarres, difficiles à retenir, terminés par "ien ", mais devenus indispensables. Sans entrer dans le détail, disons que chaque barreau de l'échelle correspond à un <u>étage²⁸</u>, défini par son <u>stratotype²⁹</u> mondial, consacré par un comité international. Le "stratotype " est situé dans une localité précise du monde, où l'étage se trouve illustré par une coupe géologique remarquable, dans laquelle **tous ses caractères réputés typiques** (au moment de sa définition) sont présents.

Ainsi le stratotype de l'étage Hettangien était, jusqu'en 2011, situé en France, dans la localité <u>d'Hettanges-la-Grande³⁰</u> (Moselle) où se trouve une carrière (aujourd'hui juridiquement protégée) dans laquelle tous les caractères typiques de l'étage (dans ce cas précis, il s'agit de caractères essentiellement paléontologiques) sont présents. On y observe notamment le fossile caractéristique de l'étage (au moins anciennement), l'ammonite *Psiloceras planorbis* (Sowb.), fossile qu'on ne retrouve pas en Valdonnez. Conformément à une tradition historique, l'étage a reçu le nom d'Hettangien (<u>Hettanges + ien</u>).

Toutefois, la base de l'Hettangien constitue aussi l'importante limite Trias-Jurassique, soulignée par l'extinction massive de la fin du Trias, et à ce titre elle a suscité récemment de nombreux travaux. Aussi, le nouveau Point Stratotypique Mondial (**PSM**) définissant le stratotype, (en anglais : Global Boundary Stratotype Section and Point (**GSSP**) validé en août 2011 par la Commission internationale de stratigraphie se situe à Kuhjoch, en Autriche, dans le parc national de Karwendel (Tyrol). La base de l'Hettangien (l'étage conserve son nom) se définit maintenant par la première date d'apparition (FAD) de l'espèce d'ammonite *Psiloceras spelae* (Hill. et Krys.).

Pour voyager un peu, on notera que le stratotype du <u>dernier étage du Permien</u> est actuellement situé en Chine du sud, non loin de Shanghai, dans le district de Chángxīng Xiàn, (selon Wikipédia, c'est une unité administrative de la province du Zhejiang, placée sous la juridiction de la ville-préfecture de Huzhou). Dans ce district (très précisément à <u>Meishan³¹</u>) se trouve un affleurement (actuellement connu dans le monde entier et matérialisé par un vaste monument officiel) où s'observent, outre les dernières strates du Permien marin profond, les premières strates marines (également profondes) du Trias ainsi que la limite Permien-Trias, soulignée par l'apparition du conodonte *Hindeodus parvus* (Koz. et Pjat.). Cette apparition marque en effet (conventionnellement) l'extrême début du Trias.

Conformément à la tradition historique, le dernier étage du Permien a reçu le nom (internationalement reconnu) de "Changxingien" (Chángxīng + ien)

Pour en revenir au Valdonnez ou à ses environs cévenols, la base de l'Hettangien se présente sous deux aspects très différents : soit des formations détritiques grossières, soit des calcaires magnésiens bruns, auxquels on donne traditionnellement le nom de dolomie capucin, un faciès n'excluant pas l'autre.

Le conglomérat de base de l'Hettangien

Selon une ancienne croyance, toute série sédimentaire transgressive débuterait par quelque strates grossièrement détritiques constituant le conglomérat de base. En fait, ce n'est pas toujours vrai. Dans le cas qui nous intéresse, la base de l'Hettangien peut, ou non, présenter quelques bancs détritiques grossiers, probablement déposés dans un environnement fluviatile. Il s'agit le plus souvent de grès grossiers à éléments essentiellement quartzeux. On admet généralement que ces éléments détritiques ont été arrachés aux massifs granitiques voisins. Pourtant, on n'y retrouve pas toujours les traceurs caractéristiques de ces massifs (on pense en particulier aux cristaux de zircon, dont les morphologies sont notoirement variables et significatives quant à leur provenance). Faut-il admettre que les choses sont plus compliquées qu'on ne le suppose ? En science, on constate souvent qu'il y a un monde entre ce qu'on imagine et la manière dont les choses se passent réellement.

La notice de la feuille de Mende précise par ailleurs qu'on observe dans les grès quelques vestiges végétaux mal déterminables.

Quant a la notice de la feuille de Génolhac, elle précise l'existence de passages latéraux et d'un passage progressif vers le haut de la formation détritique à la dolomie capucin.

La dolomie capucin

Comme on l'a déjà dit, il s'agit le plus souvent de <u>calcaires magnésiens³²</u>, très peu fossilifères, d'origine marine. Ils constituent l'Hettangien inférieur proprement dit. L'épithète "capucin" souligne leur teinte marron (rappelant la tenue des Capucins, communauté de l'Ordre franciscain), car ces roches sont colorées par l'oxyde ferrique.

Dans le Valdonnez la <u>dolomie capucin</u> est bien représentée le long de la route au nord du col de Montmirat.

La notice de la feuille de Mende précise qu'il s'agit " d'une roche de couleur brune, encore très gréseuse, dolomitique, avec des géodes minéralisées en calcite, barytine et galène ". La minéralisation des géodes est liée à la proximité du socle hercynien riche en éléments lessivés, sur lequel reposent, en discordance, les premières assises de l'Hettangien. Cette aptitude de la base de la couverture mésozoïque à la minéralisation (essentiellement en Plomb, Zinc, Argent et Baryum, ce dernier sous la forme de barytine) s'observe partout sur la bordure cévenole, où les exploitations minières ont naguère été florissantes ("Province métallogénique sous-cévenole", A. Bernard, 1958).

La dolomie cubique

Elle constitue la majeure partie de la série sédimentaire hettangienne. On l'observe bien dans les environs immédiats de Mende (<u>Causse d'Auge</u>, <u>viaduc de Rieucros</u>, route de Badaroux) et sur <u>la route de Chabrits à Barjac</u>, tous lieux où elle affleure nettement mieux que dans le Valdonnez. La notice de la feuille de Mende note à ce propos l'alternance de calcaires magnésiens et de marnes vertes à noires, parfois ligniteuses. Le même document souligne l'épaisseur plus grande des interbancs marneux dans la partie inférieure de la série, et moins grande dans la partie supérieure.

Par ailleurs, le débit en parallélépipèdes de ces calcaires, justifie l'appellation simplificatrice de "cubique" qu'on leur donne, après en avoir fait souvent des "dolomies". Plus loin, dans la notice de la feuille de Mende on trouve un développement en faveur de dépôts lagunaires et épicontinentaux. Parmi les fossiles (peu caractéristiques) la présence du conifère Brachyphyllum est signalée.

Pour ce qui concerne les conditions épicontinentales et lagunaires qui prévalaient souvent à l'Hettangien on se rappellera les pistes de dinosaures terrestres qu'on observe dans ces niveaux au sud de Florac, à St Laurent-de-Trèves.

3.2. LE SINÉMURIEN

 $(196,5 \pm 1,0 - 189,6 \pm 1,5 \text{ Ma} = 6,9 \pm 2,5 \text{ Ma})$

Le stratotype de l'étage sinémurien est actuellement situé en France, dans la localité de Semur-en-Auxois (Côte d'or), dont les habitants se qualifient eux-mêmes de sinémuriens. Dans le district de Semur-en-Auxois, tous les caractères typiques (essentiellement paléontologiques) de l'étage sinémurien sont présents (Selon Wikipedia : le fossile caractéristique de cet étage est la <u>gryphée³³</u>. Mais il est également riche d'autres fossiles : coraux, échinodermes, mollusques).

Sur la notice de la feuille de Mende on trouve une description du Sinémurien local : il est signalé comme un calcaire oolithique dont les oolithes sont noyées dans un ciment secondaire de calcite transparente (roche carbonatée que les spécialistes pourraient appeler du doux nom d' <u>oocalcacarenite pures³⁴</u>). En fait, les dénominations n'ont pas d'importance ; ce qui importe c'est ce que ces roches nous apprennent sur le milieu de dépôt : mer peu profonde, agitée, type de sédimentation de cordon littoral exclusivement carbonaté soumis a l'influence des marées, comme on en trouve actuellement aux iles Bahamas (Caraïbes) ou dans la région d'Abou Dhabi (Golfe persique).

On remarquera que les conditions de sédimentation s'apprêtent à changer pour devenir, au Pliensbachien inférieur, beaucoup plus calmes, avec des dépôts de boues en suspension (boues carbonatées qui donneront les bancs calcaires ou boues argileuses terrigènes qui donneront les interbancs marneux, par mélange avec la boue carbonatée). On ne retrouvera des environnements littoraux agites que bien plus tard, au Bajocien inferieur, c'est à dire après 15 millions d'années environ.

Le Sinémurien du Valdonnez semble briller par sa discrétion ; on est demandeur pour ce qui est des affleurements, pourtant marqués sur la carte au 1/50000ème. Il est vrai que la notice de la feuille de Mende signale que ses dépôts s'amenuisent vers l'est, par suite des discontinuités de sédimentation.

Les fossiles signalés sont, notamment, *Gryphaea obliquata*, et *Oxynoticeras oxynotum*.

3.3 LE PLIENSBACHIEN

 $(189,6 \pm 1,5 - 183,0 \pm 1,5 Ma = 6,6 \pm 3 Ma)$

Le stratotype de l'étage Pliensbachien est actuellement situé en Bavière, dans la localité de Pliensbach. J'espère que vous voudrez bien pardonner aux stratigraphes s'il leur est apparu opportun, pour des raisons de différences paléontologiques, de subdiviser cet étage en deux sous-étages : le Carixien (ou Pliensbachien inférieur), et le Domérien (ou Pliensbachien supérieur).

3.3.1 LE CARIXIEN (Pliensbachien inférieur)

Le stratotype du sous-étage Carixien est actuellement situé en Angleterre, près de la localité de Charmouth (en latin : *Carixia*). Outre ses caractéristiques paléontologiques, le Carixien est bien individualisé en Valdonnez par ce qu'il est représenté par des calcaires, alors que le Domérien (sous-étage suivant) est intégralement <u>marneux³⁷</u>.

Les calcaires carixiens, dont les strates compactes sont régulièrement entrecoupées d'interbancs marneux plus meubles, s'observent bien le long de la route de <u>Langlade à Varazous</u> où ils affleurent largement. Il s'agit de calcaires argileux (on dit souvent, à tort, marneux). On les trouve là avec un pendage qui suit approximativement la pente générale de la topographie, selon (toujours à peu près) ce qu'on appelle en géomorphologie une surface structurale (que les puristes me pardonnent, ça n'est pas une " vraie " surface structurale). Ils ont tendance à se déliter en plaques sonores qu'on qualifie familièrement des "tuiles". L'aspect **en rang de pavés** dû à de nombreuses diaclases régulières, est bien visible sur les sommets de bancs dégagés par l'érosion.

Je me plais à exhumer de vieux souvenirs, en me rappelant la présence de plusieurs gryphées silicifiées, isolées dans des interbancs marneux de la base de la série (d'âge peut-être encore sinémurien), et de quelques exemplaires de <u>Lytoceras fimbriatum</u> situés au sommet, à la limite entre les calcaires du Carixien et les marnes du Domérien, soit dans <u>le secteur de Préfontaines</u>, soit dans le secteur du Salès (je dis bien **Salès** et non Salex).

La notice de la feuille de Mende y signale aussi des calcaires " en rangs de pavés ", une tendance siliceuse de la série vers la base et marneuse vers le sommet. Elle note la présence de <u>Gryphaea cymbium</u> dans la partie basale siliceuse et <u>Lytoceras fimbriatum</u> dans la partie sommitale marneuse.

3.3.2 LE DOMÉRIEN (Pliensbachien supérieur)

Le stratotype du sous-étage Domérien est actuellement situé en Italie du nord, au Monte Domaro (Alpes du sud), non loin de la ville de Brescia (Lombardie).

Avec le Domérien commencent les Terres bleues du Valdonnez, chères à Marie de Palet. Disons que sans les marnes gris-bleu du Domérien-Toarcien, le Valdonnez ne serait pas ce qu'il est, ou même n'existerait pas en tant que terroir. Outre les contrastes morphologiques observables dans le paysage dont les Terres bleues font le charme, ces marnes offrent en effet des surfaces immédiatement cultivables que n'offrent pas les calcaires (sauf aujourd'hui, moyennant un broyage préalable intense et énergétiquement coûteux). L'occupation romaine, évidente à Lanuéjols, témoigne de l'usage agricole antique des Terres bleues.

Les fossiles les plus communs qu'on trouve dans ces marnes sont les rostres de <u>Bélemnites³⁸</u> dont l'organisation des <u>parties dures mérite d'être illustrée</u>. On n'en retrouve guère que les rostres (relativement abondants car mieux susceptibles de conservation), plus rarement les phragmocônes.

On y trouve aussi des <u>Ammonites³⁹</u>, dont la plus célèbre est <u>Amaltheus margaritatus</u> (Montf), caractéristique de l'étage. La notice de la feuille de Mende signale aussi *Paltopleuroceras spinatum* Brug., vers le haut de la série.



Amaltheus margaritatus (Montf)

Collection particulière

3.4 LE TOARCIEN ($(183,0 \pm 1,5 - 175,6 \pm 2,0 \text{ Ma})$

Le stratotype du Toarcien a été défini par Alcide d'Orbigny en 1849 ; il est actuellement situé en France, près de la ville de Thouars (Deux Sèvres). Le terme est dérivé de *Toarcium*, nom latinisé de Thouars. Le site du stratotype (anciennes carrières) est légalement protégé. Il se signale notamment par sa riche faune d'ammonites, définissant nombre d'horizons successifs, utilisés comme repères chronologiques dans le monde entier. **Dans le Valdonnez**, <u>le Toarcien est constitué par des Terres bleues très fossilifères</u>. Il débute là par un niveau de quelques mètres assez facilement repérable : <u>les schistes cartons</u> qui sont constitués par un empilement de minces feuillets sédimentaires indurés, parsemés de fossiles (j'y ai observé, il y a bien des années, quelques grandes empreintes que j'attribuai, sans garantie, à *Harpoceras falciferum* Sowb...). La suite de la série est représentée par des marnes où la notice de la feuille de Mende mentionne la présence d'*Hildoceras bifrons* Brug., fossile très commun dans les niveaux du Toarcien moyen.

Elle précise, d'autre part, la présence du niveau plus dur des <u>schistes cartons</u> dans lesquels elle cite la présence de <u>Posidonomya bronni</u>. Les Ammonites pyriteuses, que l'on trouve au -dessus, permettent de distinguer le Toarcien inférieur (zone à <u>Harpoceras falciferum</u>, le Toarcien moyen (zone à <u>Hildoceras bifrons</u>, et le Toarcien supérieur (zone à <u>Lytoceras jurense</u>)...

Le plus intéressant dans les <u>Terres bleues domériennes ou toarciennes</u>, ce sont sans doute les conditions de dépôt des sédiments. D'abord on doit constater que les dépôts argileux, fussent-ils partiellement carbonatés, s'opèrent par **décantation**, ce qui suppose une sédimentation particulièrement calme. Il faut ensuite imaginer des conditions <u>euxiniques⁴⁰</u>, telles que décrites plus bas, sous la référence indiquée. Des contraintes infligées par cet environnement très particulier, on peut déduire que les animaux nageurs, comme les ammonites ou les bélemnites, étaient systématiquement favorisés par ce qu'ils pouvaient parcourir (jusqu'à leur mort et leur chute finale) la partie superficielle oxygénée de la mer, alors que les animaux rampant sur le fond, ou à fortiori fixés, se trouvaient éliminés par les conditions mortelles qui y prévalaient le plus souvent.

Certes on peut rencontrer, dans les Terres bleues, quelques débris fossiles d'animaux habituellement fixés (ou peu mobiles) : <u>lamellibranches⁴¹</u>, <u>Brachiopodes⁴²</u>, <u>entroques⁴³</u> (<u>crinoïdes</u>). On peut admettre alors : soit que les conditions euxiniques, pendant ces longues périodes, n'étaient pas strictement permanentes, soit que la plupart des animaux retrouvés (vu leur petite taille) avaient fait le voyage, fixés sur des radeaux naturels qui dérivaient en surface depuis les zones côtières, soit les deux à la fois. Ajoutons que les squelettes complets de <u>reptiles marins</u> (<u>ichtyosaures</u>, <u>plésiosaures⁴⁴...) retrouvés intacts dans les marnes, témoignent en faveur de conditions locales particulièrement calmes sur le fond de la mer, à l'époque du dépôt des Terres bleues.</u>



Hildoceras bifrons Collection particulière

3.5 L'AALÉNIEN (175,6 \pm 2,0 - 171,6 \pm 3,0 = 4 \pm 0,5 Ma)

L'Aalénien est le premier étage stratigraphique du Jurassique moyen. Son stratotype a été défini par les marnes noires d'Aalen, ville du Bade-Wurtemberg (Allemagne) et se caractérise par la prédominance de marnes ou de calcaires fossilifères et souvent ferrifères.

La notice de la feuille de Mende indique la présence d'une centaine de mètres de calcaires noduleux ou en bancs onduleux à nombreuses empreintes de <u>Cancellophycus</u>. Elle signale des faunes à <u>Gryphaea sublobata</u>, <u>Rhynchonella epiliasina</u>, <u>Terebratula perovalis</u> ...etc.

En fait, le passage progressif des faciès purement marneux du Toarcien au faciès purement calcaire du Bajocien inférieur, offre un bel exemple de régression marine, c'est à dire de de recul du domaine marin, inscrit dans la succession sédimentaire.

On commence dans le Toarcien, avec une sédimentation du type décrit plus haut, soit un fond de mer particulièrement calme, anoxique, éloigné des côtes, dont la profondeur, vraisemblablement supérieure à 100 m, reste toutefois incertaine. Mais la sédimentation carbonatée va très progressivement prendre le pas sur la sédimentation argileuse, avec en outre l'apparition de conditions sous-marines plus agitées, attestant la proximité de hauts fonds. Qui dit sédimentation carbonatée dit "plate-forme carbonatée ", et qui dit plate-forme carbonatée exclut toute sédimentation terrigène argileuse; en effet, les êtres vivants originellement responsables de la sédimentation carbonatée pure (algues calcaires, coraux...) ne supportent pas les eaux troubles qui entraînent leur mort. Pour voir apparaître une sédimentation mixte argilo-calcaire dans un bassin (même peu profond), il faut nécessairement imaginer une double source d'alimentation : carbonatée d'une part, terrigène d'autre part. (Ceci reste valable dans le Toarcien, ou les bancs calcaires sont toutefois rares, au sein des Terres bleues).

Du point de vue sédimentaire, ce qui précède suppose une dissymétrie environnementale dont l'actuel Golfe persique (toutes proportions gardées) peut nous fournir un exemple : sédimentation carbonatée sur la côte ouest (côté Arabie saoudite, Qatar, Émirats arabes unis,...) où la profondeur de la mer n'excède pas quelques mètres et où l'on trouve souvent des milieux agités, opposée à une sédimentation terrigène sur la côte orientale (côté Iran, chaîne du Zagros) où la profondeur de la mer est de plusieurs dizaines de mètres. La sédimentation carbonatée, côté arabe, a été intensément et minutieusement étudiée par les sédimentologues pétroliers américains. Pourquoi diable (à ma connaissance) la sédimentation terrigène côté iranien n'a-t-elle pas eu ce privilège ? Passons...

De l'Aalénien du Valdonnez on retiendra essentiellement trois caractères :

- 1/ la fréquence des traces dénommées "Cancellophycus / Zoophycos",
- 2/ les stratifications onduleuses.
- 3/ les silicifications aléatoires

1.Les Traces dénommées " <u>Cancellophycus / Zoophycos</u> " (les deux termes sont équivalents).

Ce sont les traces dites " en coup de balai " ou encore " en queue de coq ". Il faut les avoir vues à défaut de m'imposer de les décrire plus longuement. Elles sont très fréquentes.

On admet aujourd'hui qu'il s'agit de **traces** et non d'organismes fossilisés. Là s'arrête (apparemment) le consensus. Après cela, les paris sont ouverts. Voyons d'abord ce qu'en dit Wikipédia (version anglaise) : "**Zoophycos** est un genre de traces dont on suppose qu'elles sont produites par des vers, à la recherche de nourriture. On le trouve dans les boues et les sables marins, en profondeur... à la fois dans le registre fossile et dans les carottages marins profonds actuels...".

Finalement, on a peu avancé (mise à part la réputation de profondeur).

Il est alors permis de se demander : est-ce que les nombreux Zoophycos du Valdonnez sont le signe d'une grande profondeur ? On répondra plutôt non, dans la mesure où la succession sédimentaire **effectivement observée** entre le Toarcien et le Bajocien inférieur correspond à une **diminution** évidente de la profondeur et où la densité de ces traces ne diminue pas dans les niveaux stratigraphiques les plus hauts. Que faire alors ?

On va appeler à la rescousse un "deus ex machina". Sachant que les <u>Zoophycos</u> se rencontrent depuis le Cambrien jusqu'à nos jours, ne sachant pas exactement de quoi il s'agit (sauf de traces d'activité d'animaux fouisseurs probablement divers, à la recherche de nourriture), il est permis d'imaginer qu'on désigne sous ce même nom des traces d'origines fort différentes, aussi bien quant à leurs auteurs que quant à la profondeur à laquelle ils vivaient, bref qu'on a affaire à un **phénomène de convergence**. Cette hypothèse (qui mériterait d'être étayée, sinon démontrée) aurait l'avantage de résoudre une bonne partie du problème.



CANCELLOPHYCUS / ZOOPHYCOS

(Wikimedia, Michael C. Rygel)

2. Les stratifications onduleuses. On remarque, presque partout dans les calcaires aaléniens, des séparations entre strates qui affectent une forme sinueuse et non pas plane comme on pourrait s'y attendre. <u>Cette stratification onduleuse</u> (ou, pour les puristes, ce **litage onduleux**) semble due à un phénomène de compaction différentielle survenu assez rapidement (à l'échelle géologique), après le dépôt du sédiment originel.

Ce sédiment originel était vraisemblablement constitué exclusivement par de la boue, avec une alternance entre boue carbonatée relativement pure, et boue plus riche en argile (la différence de composition n'étant pas sensible, sur le plan mécanique, au moment du dépôt). On admet classiquement que la boue carbonatée " pure " se cimente plus ou moins rapidement (après le dépôt) pour donner des strates (ou bancs) de roche calcaire compacte, alors que les niveaux plus riches en argile ne se cimentent pas (ou peu) et donnent des interbancs meubles (marneux ou argileux). Ainsi, les processus de lithification (= transformation du sédiment carbonaté meuble en roche compacte) ou au contraire de non lithification (maintien du sédiment argileux à l'état meuble) révèlent, au sens photographique du terme, la différence de composition initiale.

Dans le cas des calcaires aaléniens du Valdonnez la cimentation des niveaux carbonatés s'est visiblement effectuée à partir de nodules dont la taille atteint couramment celle d'une grosse miche de pain. Au cours d'une phase de compaction sédimentaire, intervenue postérieurement à la formation des nodules (préalablement durcis par la cimentation), ceux-ci ont irrégulièrement écrasé les interbancs argileux meubles, générant les <u>ondulations</u> qu'on observe aujourd'hui.

Calcaires aaléniens

(route de Langlade à Mende par le causse, au dessus du Lac)
On remarquera la stratification onduleuse (= litage onduleux), voir texte.





3. Les silicifications aléatoires. Dans les strates des calcaires aaléniens on observe très couramment des <u>nodules siliceux</u>, qu'on peut appeler des "accidents" siliceux ou des chailles, objets dont Wikipédia fournit la définition suivante (un peu modifiée): " Une chaille est le nom donné à une concrétion de teinte généralement claire, partiellement silicifiée au sein de masses calcaires, et contenant un mélange de calcédoine et de calcite. Les silex entrent nominalement dans cette catégorie, mais sont généralement considérés séparément". Ces nodules siliceux sont facilement repérables par ce qu'ils apparaissent en relief sur la roche calcaire. La raison de cet aspect est simple : le carbonate constituant le calcaire est facilement dissous par les eaux de pluie (chargée de CO₂) alors que les chailles ne le sont pas. Dans la roche, la répartition de ces nodule siliceux semble par ailleurs aléatoire.

La formation des chailles est attribuée (sans grand effort) à une mobilisation et à une précipitation de la silice préalablement contenue dans les eaux interstitielles du sédiment d'origine. Au moins deux questions se posent alors : 1/ d'où vient cette silice ? ; 2/ pourquoi précipite-t-elle là plutôt qu'ailleurs ? Il n'est pas facile de répondre objectivement à ces deux questions, dans la mesure où il n'est pas possible de reproduire en laboratoire les conditions du milieu naturel, sans parler du facteur " temps " qui nous échappe complètement. On ne peut, au mieux, que fournir des éléments de réponse " raisonnables " c'est à dire vraisemblables.

À la question n° 1, M. de La Palice répondrait sans doute, fort judicieusement, " de l'eau de mer ". Le problème réside dans le fait que la silice est très peu soluble dans l'eau (environ 120 mg/litre pour le quartz, un peu plus pour les autres variétés); comment dès lors focaliser l'énergie pour concentrer suffisamment la silice afin de l'amener ensuite à précipiter? Il se trouve que certains organismes vivants le peuvent, à l'intérieur de leur machinerie chimique, particulièrement efficace mais d'une effroyable complexité. Actuellement on connaît notamment pour cela les éponges à spicules siliceux, les radiolaires et les diatomées (ces dernières vivant dans les eaux océaniques froides).

Si, en strict <u>actualiste</u>⁴⁵, on élimine (pour des raisons de température) les diatomées, il reste les radiolaires et (surtout) les éponges siliceuses dont on peut imaginer (gratuitement) le pullulement à certaines époques, pour des raisons environnementales qui nous échappent. Quels que soient les êtres vivants effectivement concernés (y compris des organismes "siliceux "inconnus de nous), il est clair qu'à leur mort, les parties siliceuses de leur squelette vont se joindre sur le fond de la mer aux autres particules, entraînant un enrichissement en silice inhabituel du dépôt sédimentaire global.

Silicification des calcaires aaléniens

(route de Langlade à Mende par le causse, côté Valdonnez, au dessus du Lac)



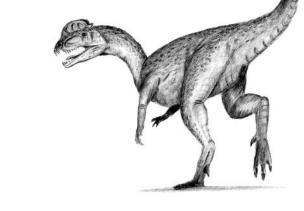


Assez peu de temps (géologique) après le dépôt proprement dit, surviennent les phases de cimentation par nodulation, carbonatée ou siliceuse (nodulations pour lesquelles on soupçonne, sans pouvoir le démontrer, le rôle de colonies bactériennes). Il est possible alors d'imaginer que les eaux interstitielles du sédiment, enrichies en silice, participent localement à la genèse de concrétions siliceuses, sous l'influence de colonies bactériennes spécifiquement efficaces et aléatoirement réparties.

Et les dinosaures ? Sans doute m'en voudrait-on de ne pas évoquer ces grosses bêtes dans un exposé à prétention géologique. En effet, le commencement du Jurassique est la période chronologique à partir de laquelle on fait débuter "le temps des Dinosaures" (strictement -230 Ma, Trias).

Une remarque préliminaire : dans le Valdonnez (et plus généralement dans les Causses) où l'on ne trouve que des sédiments marins, il est pratiquement exclu qu'on rencontre des fossiles de dinosaures, animaux purement terrestres. En revanche, on peut rencontrer des fossiles de <u>reptiles marins</u>, ichtyosaures, plésiosaures... lesquels étaient des animaux de grandes tailles, mais **ne sont pas** considérés comme des dinosaures.

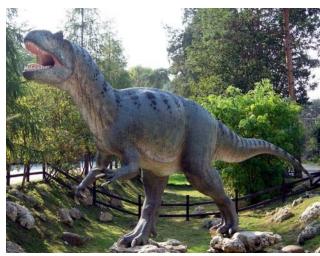
Parmi les dinosaures (absents du Valdonnez), on distinguera les très grands herbivores (<u>Diplodocus, Brontosaures</u>... apparaissant à la fin du Jurassique) et les grands carnassiers (Allosaures..., apparaissant également à la fin du Jurassique). Parmi les grands carnassiers, on regrettera de ne pas citer le très fameux Tyrannosaure mais il a le mauvais goût de n'apparaître qu'à la fin du Crétacé (terrains par ailleurs inexistants dans les Causses). En plus modeste (mais déjà pas si mal), on peut présenter le <u>Dilophosaurus</u> (Sinémurien-Pliensbachien, trouvé en Chine du Nord et aux USA, qu'il n'aurait probablement pas fait bon côtoyer (les plus grands pouvaient mesurer jusqu'à 2,5 m de haut, six mètres de long et peser 500 kg).



Dilophosaurus, carnassier de taille moyenne (Lias); reconstitution. (Wikimedia, ArthurWeasley)



Dilophosaurus, carnassier de taille moyenne (*Lias*); reconstitution. (Wikimedia, ArthurWeasley)



Reconstitution d'un **Allosaure** dans le parc de Bałtów, en Pologne (document Wikimedia, Jakubhal)

3.6 LE BAJOCIEN $(171,6 \pm 3,0 - 167.7 \pm 3,5 = 3.9 \pm 6,5 \text{ Ma})$

Le stratotype a été initialement décrit dans la région de Bayeux (Calvados) par Alcide d'Orbigny qui a formé Bajocien à partir du radical du nom gallo-romain de Bayeux, Bajocae. Au colloque sur le Jurassique du Luxembourg de 1964, la section stratigraphique de Sainte Honorine-des-Pertes (Calvados) a été proposée et acceptée comme stratotype du Bajocien (en 1994, le site du stratotype a encore changé ; il se trouve actuellement au Portugal). Cette section comprend, notamment, des niveaux calcaires riches en **spongiaires** (à squelette siliceux), attestant le pullulement de ces organismes.

3.6.1 LE BAJOCIEN INFÉRIEUR.

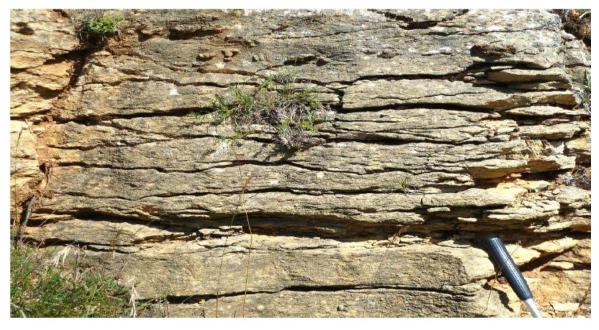
Dans le Valdonnez, le Bajocien inférieur est bien décrit par la notice de la feuille de Mende qui signale la présence de 10 à 30 cm de calcaires oolithiques ou à entroques, avec chailles et nombreux débris coquilliers que leur fragmentation rend peu déterminables, exceptées <u>Trigonia costata</u>, et <u>Belemnites canaliculatus</u>.

La photo ci-dessous illustre les structures sédimentaires localement observables dans la "corniche des causses". On y remarque la présence de **litages obliques** qui témoignent de la migration de trains de rides de courant, signature de l'existence de **courants de traction** contemporains du dépôt du sédiment. Si l'on y ajoute les observations concernant la **texture** du sédiment originel, **sable** exclusivement carbonaté composé d'oolites et de débris d'organismes, dénué de boue, on a une vision cohérente du milieu de dépôt : **milieu marin très peu profond**, **agité**, situé **au-dessus** du niveau de base des vagues ordinaires.

Immédiatement au-dessous des couches précédemment décrites, on trouve au contraire des niveaux riches en boue dans laquelle sont dispersées de très <u>nombreuses coquilles</u> <u>entières</u> de <u>Brachiopodes</u>, signature d'un milieu de dépôt plus calme, situé <u>au-dessous</u> du niveau de base des vagues ordinaires.

Bajocien inférieur du causse de Mende

(route de Langlade à Mende par le causse, site du Point de vue sur le Valdonnez)



Litages obliques dus à la migration de rides (ou de dunes hydrauliques), migration liée à des courants de traction, responsables du dépôt du sable...(milieu peu profond et agité). Vers le haut de la photo : chailles en relief par rapport au calcaire.

3.6.1 LE BAJOCIEN SUPÉRIEUR

Il est relativement épais, entièrement dolomitique et sans fossiles.

<u>Les dolomies du Bajocien supérieur</u> sont les niveaux les plus récents observables en Valdonnez. Ils sont généralement massifs et ruiniformes. Ce sont eux qui forment la masse rocheuse de sites bien connus: le "Lion couronné" de Balsièges, le Rocher de Moïse, les Cheyrousses .

Concernant leur origine, on sait depuis longtemps que les dolomies proviennent d'anciens calcaires " ordinaires ", à l'origine entièrement constitués de calcite (carbonate de calcium). En profondeur, hors de toute observation, il faut supposer que ces calcaires ont subi une transformation très lente mais radicale : sous l'effet d'eaux interstitielles profondes d'origine marine, fortement concentrées, donc enrichies en magnésium, ils ont vu plus de 50 % de leur carbonate de calcium d'origine (calcite) se transformer en carbonate double de calcium et de magnésium (dolomite), sous forme de nouveaux cristaux reconnaissables dans la roche. Ce processus doit opérer à l'état solide, par substitution unitaire d'un atome de Calcium par un atome de Magnésium. Vous pourrez toujours me dire qu'on n'était pas là pour le voir ; trouvez alors une meilleure explication, on est preneur.

Quant à l'aptitude des dolomies à générer des <u>paysages ruiniformes</u>, elle est due, apparemment, à une différence de solubilité entre la calcite et la dolomite. Alors que la première est très soluble dans les solutions acides, telle l'eau de pluie chargée de CO₂, la seconde y est beaucoup moins sensible. Comme les dolomies contiennent encore des zones principalement composées de calcite (héritées de leur passé de calcaires), ce sont elles qui sont préférentiellement corrodées, alors que les zones où domine la dolomite sont plutôt conservées. Le résultat final est la formation de masses rocheuses irrégulières ; l'imagination des humains fait le reste. Une remarque s'impose : au cours de ce processus, les cristaux de dolomite (en forme de losange) associés à la calcite, sont libérés. Comme ils ont une taille très uniforme, ils donnent naissance à un **sédiment résiduel** particulièrement bien classé : **le sable dolomitique**, meuble, qu'on retrouve dans les creux de la topographie et qui s'insinue dans les fissures de la roche.



Sable dolomitique parmi le relief ruiniforme des Cheyrouses

3.7 SUITE DE LA SÉRIE SÉDIMENTAIRE DES CAUSSES

(Hors Valdonnez, mais à proximité)

Des niveaux plus récents s'observent en dehors du Valdonnez, par exemple dans la coupe du causse de Changefège. Dans cette coupe, les niveaux les plus jeunes sont d'âge oxfordien (Jurassique). Selon la notice de la feuille de Mende, on y trouve, au-dessus des dolomies du Bajocien supérieur :

Le Bathonien inférieur, représenté par quelques dizaines de mètres de calcaires blancs en plaquettes, avec de rares moules internes de <u>nérinées</u>⁴⁶.

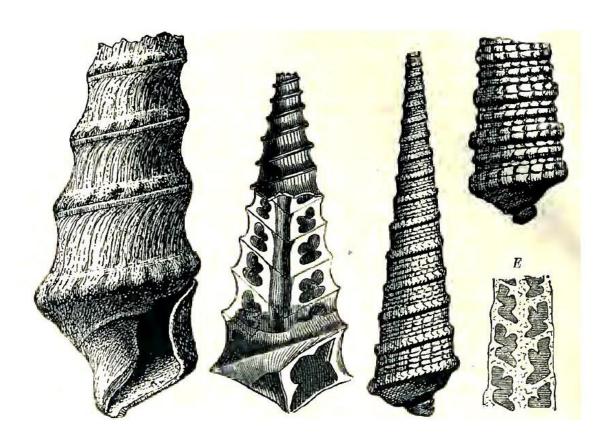
Le Bathonien supérieur, représenté par plusieurs dizaines de mètres de dolomie sans fossiles, est un niveau important dans la morphologie des Causses majeurs. C'est lui qui donne les plus belles falaises rocheuses des Gorges du Tarn et de la Jonte. C'est aussi lui qui abrite en son sein la grande salle de l'Aven Armand et la Grotte de Dargilan.

Le **Callovien** et **l'Oxfordien**, quant à eux, sont représentés par quelques dizaines de mètres de calcaires en plaquettes, issus d'anciennes boues carbonatées, dont <u>les fossiles cités</u> dans la notice de la carte goélogique sont représentés.

Dans l'ensemble des Causses, la série stratigraphique complète, après Callovien, Oxfordien, et Kimmeridgien, atteint le dernier étage du Jurassique : le Tithonien (ancien Portlandien). En revanche, les niveaux d'âge crétacé y sont pratiquement absents.

Nérinées : grands gastéropodes marins fossiles (Jurassique-Crétacé)

(Zittel, fig. 924)



4. COMMENT EN EST-ON ARRIVÉ AU STADE ACTUEL?

La question est tout à fait pertinente, attendu que les conditions ont diablement changé depuis le Jurassique où la mer occupait le Valdonnez. Mais il y a un mais...

Pour le géologue les terrains représentent les archives de la planète. Or, tous les historiens vous le diront : pas d'archives, pas d'Histoire (sauf celle qu'on peut toujours imaginer ; mais est-ce bien de l'Histoire ?). On admettra volontiers qu'il n'est pas facile de travailler sérieusement dans ces conditions. Il paraît donc difficile de répondre convenablement à la question posée.

On peut tout de même essayer de tenter l'aventure (à la condition que le lecteur veuille bien pardonner le " flou " inévitable de la réponse). La notice de la feuille de Meyrueis (p. 19) est à cet égard significative. Elle soutient l'hypothèse, vraisemblable mais objectivement mal démontrée, que pendant le Crétacé et le Tertiaire (au moins pendant la plus grande partie de celui-ci), la surface des Causses (alors émergée) a évolué pour donner une pénéplaine¹². C'est pendant ces époques, fort longues (en tout environ 150 Ma), que seraient apparues les formations continentales sidérolithiques, dont les vestiges sont représentés par les " Terres rouges du causse ", qu'on retrouve maintenant au fond des dolines, de même que dans les réseaux karstiques sous la forme de soi-disant " argiles de décalcification ".

Le même texte (p. 20) attribue à des périodes géologiques tout à fait récentes (Quaternaire ancien et subactuel, 1 à 2,5 millions d'années seulement!) le creusement "extrêmement brutal" des vallées cévenoles et des canyons profonds tels qu'on les observe aujourd'hui (250 à 350 m, voire plus de 400 m au-dessous de la vieille surface d'érosion). Pour faire bonne mesure, on peut y ajouter l'avènement de la morphologie actuelle du Valdonnez, avec la formation du "truc de Balduc", forme résiduelle ayant (provisoirement) résisté à l'érosion.

La question est alors de savoir si c'est le continent qui s'est soulevé ou bien le niveau marin qui s'est abaissé (ou les deux). On croit pouvoir répondre, avec quelques arguments, que c'est essentiellement le continent qui s'est soulevé. L'inconvénient c'est qu'on ne sait pas très bien par quel mécanisme, attendu que la sismicité de la région semble négligeable (fort heureusement pour nous).

Pour d'autres auteurs, en revanche, les premiers stades de creusement seraient **nettement plus anciens**... Mais finalement on manque cruellement d'"archives " et par consequent, de bons arguments... Rien n'est simple.



4.1 ET LE GRAND CANYON DU COLORADO?

Il fait bon parler de canyons profonds à propos des Gorges du Tarn ou de la Jonte. Mais qu'en est-il du Grand Canyon du Colorado où la dénivelée est de l'ordre de 2000 mètres entre la vieille surface d'érosion et le fond du Rio ? (et où la coupe complète atteint très largement le Précambrien).

À ce propos, Wikipédia indiquait, en juin 2013 :

" Une première hypothèse était que le Grand Canyon lui-même s'est formé à partir de la fin du **Tertiaire** grâce à l'action érosive du Colorado, renforcée par l'ouverture du golfe de Californie en aval. De nouvelles éruptions ont produit des coulées de lave qui ont formé plusieurs bouchons dans la gorge et formé des lacs d'une profondeur allant jusqu'à 600 mètres.

Selon des données minéralogiques plus récentes, il pourrait être plus vieux de 17 millions d'années, soit 11 millions d'années de plus que ce que l'on pensait (estimation début 2008 par le California Institute of Technology).

Puis l'Université du Colorado a estimé qu'il existait il y a 55 millions d'années et qu'il aurait pu commencer à se creuser il y a 65 millions d'années, à **la fin de l'ère des dinosaures**. " (**Fin du Secondaire**, NDLR).

On voit clairement là, qu'en géologie comme ailleurs, rien n'est jamais simple.

4.2 DES FORMATIONS RECENTES PERIGLACIAIRES : LES CAILLOUTIS DE PENTE CIMENTÉS (= " GRÈZES LITÉES")

<u>Ces photos</u> montrent des cailloutis " fabriqués " par le gel à un époque **relativement récente** ou les conditions climatiques étaient considérablement plus froides qu'aujourd'hui. La fin de la toute dernière glaciation (laquelle a duré environ 55 000 ans) ne date en effet que de 15 000 ans (des broutilles à l'échelle du million d'années), et les **températures moyennes** de l'hiver s'établissaient, sous nos latitudes, autour de -30°C. L'Aubrac était alors recouvert d'un glacier. (Quand on pense que nos ancêtres directs ont dû subir de telles conditions, on imagine qu'ils auraient aimé qu'on leur parlât d'un réchauffement climatique).

Dans ces cailloutis, les éléments (calcaires) sont **anguleux**, de petite taille, plutôt bien classés. De l'avis général des connaisseurs, leur morphologie constitue une signature indubitable du mécanisme qui leur a donné naissance : la fragmentation par le gel. Au fil des années glaciales, ces cailloutis se sont accumulés au bas des versants, en y formant des manteaux détritiques.

La circulation des eaux, chargées de bicarbonate dissous, à travers ces manteaux perméables, a généré, par précipitation, des **cimentations** carbonatées irrégulières, grossièrement planes et parallèles. C'est à peu près ainsi que sont nés ces cailloutis de pente auxquels les spécialistes donnent le nom technique (apparemment très utilisé) de "grèzes litées".

4.3 DES FORMATIONS ACTUELLES: LES TUFFIÈRES (OU TUFIÈRES)

Les tufs en géologie

Dans le langage courant, le mot " tuf" désigne une roche **poreuse** et **légère**. C'est aussi le sens du terme en géologie, sauf que les tufs peuvent avoir deux origines complètement différentes.

- <u>a) Les tufs volcaniques</u> sont des roches volcano-détritiques composées le plus souvent de débris de scories (débris résultant d'explosions) sommairement agglomérés (on les qualifie aussi de tufs pyroclastiques, mot d'étymologie grecque signifiant : fragmentés par le feu).
- <u>b) les tufs carbonatés ou travertins</u> résultent de la **précipitation physico-chimique** de carbonate (de calcium) autour des végétaux qui abondent à l'exutoire de sources, en pays calcaire.

En juin 2013, Wikipédia note, à propos du mot "travertin": "Le travertin se forme par dépôt de calcaire sur de la végétation (telle que mousses...), aux émergences de certaines sources ou cours d'eau à petites cascades. Le carbonate précipite à cause de l'action des végétaux et des turbulences de l'eau. La végétation repousse ensuite sur le nouveau bâti, et le procédé recommence, en cycle. Cela donne un aspect insolite à ces petits torrents, qu'on appelle alors sources pétrifiantes ou tufières."

L'aspect insolite dont il est question précédemment est surtout visible sur la photo autrichienne A ou le carbonate affecte la forme de stalactites ou de draperies, alors que sur la photo B, authentiquement lozérienne, la végétation masque les dépôts de carbonate.

5. EN GUISE DE CONCLUSION : QUELQUES FRISSONS

Aux géologues, comme aux historiens, il est interdit de jouer les prophètes, car les traits futurs de la surface de la planète dépendent, entre autres, de propriétés <u>émergentes</u>⁴⁷ de l'omniprésente société humaine. Tout évolue, à toutes les échelles, (on en est sûr maintenant, même si ça ne nous plait pas toujours) mais l'avenir global des humains, quelle qu'en soit la durée, reste obstinément caché.

On se retournera donc vers un passé, qu'on connait encore fort mal, mais qui peut déjà nous prodiguer quelques enseignements. On doit souligner d'abord la soudaineté possible des scenarios évoqués (la percussion par un astéroïde étant le plus bref); on veut dire par là que la lenteur majestueuse des Temps géologiques ne s'applique pas toujours et qu'il suffit de peu de choses pour qu'on **bascule très rapidement** dans un autre régime, tout à fait diffèrent de celui qui organise les humains aujourd'hui (suivez la direction de mon regard).

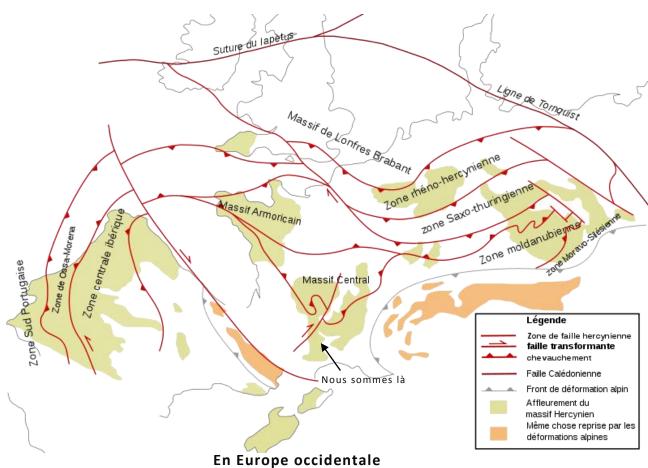
- 1/ Après la révolution néolithique, et surtout depuis la révolution industrielle, la fulgurante expansion d'Homo sapiens sur toute la planète (en tout moins de 10 000 ans, autant dire instantanément à l'échelle géologique) est une innovation environnementale majeure, du "jamais vu "dans l'histoire de la terre ; l'humanité survivra-t-elle a son succès ? On peut l'espérer, sans plus.
- 2/ La percussion de la planète par des objets cosmiques (principalement astéroïdes géocroiseurs...) représente une menace non négligeable, prise au sérieux par certains organismes institutionnels (dont la NASA). Pour les temps historiques, dans les zones habitées au moins, on ne semble pas posséder de documentation catastrophiste sur le sujet (exceptée, en 1908, l'explosion phénoménale de la Tougouska inhabitée). Cette absence très relative n'a par ailleurs aucune valeur prédictive. Quoique... Cette histoire de Gaulois qui ne craignaient rien, sauf que le ciel leur tombât sur la tête, histoire dont on a tous rigolé (après les Romains), me met aujourd'hui un peu mal à l'aise.
- **3/** Pour ce qui concerne l'ensemble des <u>humains⁴⁸</u> quels sont les grands dangers proprement géologiques qui menacent ? On peut écarter les tremblements de terre et les tsunamis (même très meurtriers) pour répondre sans hésitation : les volcans, ou plutôt **le volcanisme** dans ses manifestations les plus énergétiques (très souvent liées à l'activité exceptionnelle de <u>points chauds⁴⁹</u>) : super-volcans explosifs ((type Toba ou Yellowstone), ou mégacoulées fissurales fluides (type trapps). À la différence des objets cosmiques, pour lesquels on peut imaginer des parades (dont l'efficacité serait à prouver, sauf en ce qui concerne l'allocation de crédits), nous n'avons aucun moyen d'action contre les catastrophes issues de l'intérieur de la <u>planète⁵⁰</u> ni, naturellement, contre leurs éventuelles conséquences climatiques.

ILLUSTRATIONS



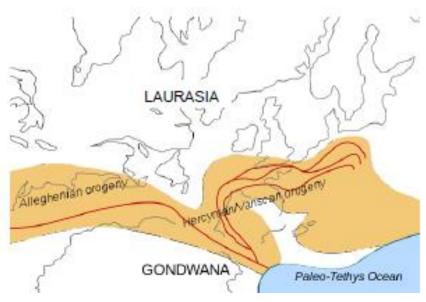
Eucyclus capitaneus

Chaine hercynienne



On notera le position approximative de l'Espagne, de la Corse et de la Sardaigne, qui n'occuperont que plus tard leur emplacement actuel. Document Wikimedia, Woudloper

Pour le retour au texte : Ctrl + flèche gauche

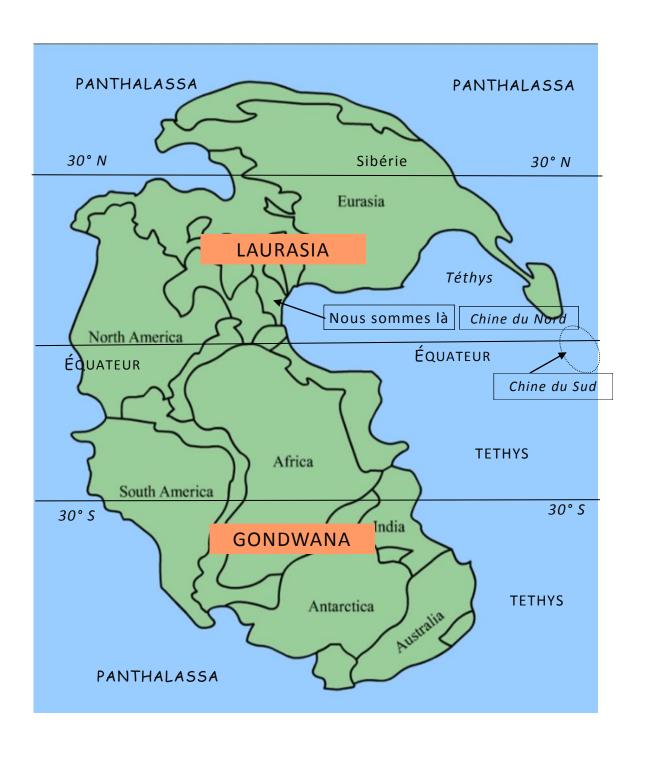


Dans le monde, Document Wikimedia, Woudloper

LA PANGÉE

(fin Permien - début Trias)

Pour le retour au texte : Ctrl + flèche gauche



Affleurement de schistes des Cévennes, métamorphisés dans le faciès schistes verts

(environs de Vareilles)



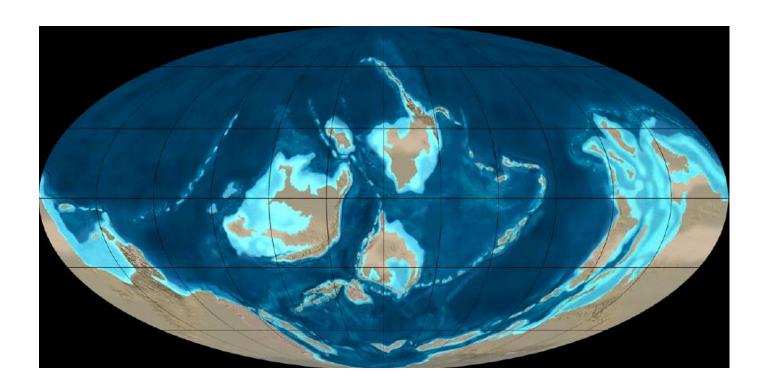
Moellon de micaschiste du faciès schistes verts dans un mur d'une maison de Vareilles



On notera les plissements qui affectent le schistosité et sont donc contemporains d'une phase de compression postérieure à celle-ci.

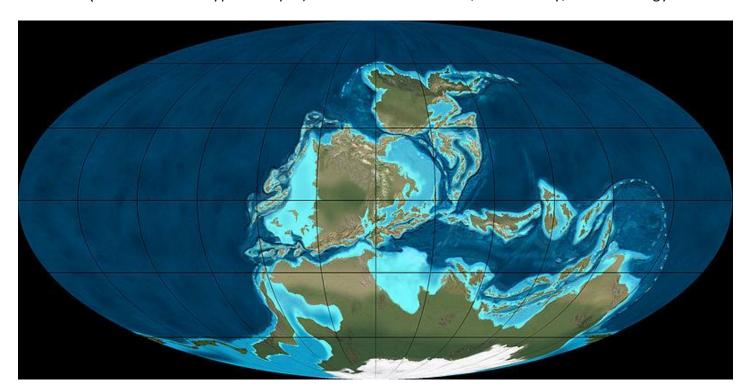
Paléographie de l'ordovicien

(reconstitution hypothétique) Document Wikipédia, Ron Blakey, NAU Geology)



Paléogéographie du Carbonifère supérieur

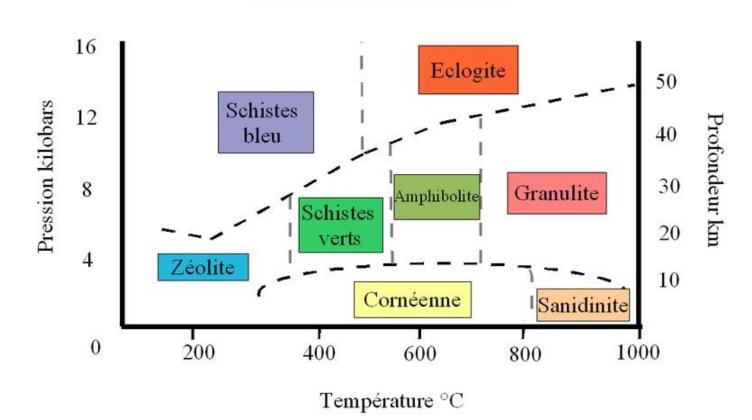
(reconstitution hypothétique) Document Wikimedia, Ron Blakey, NAU Geology



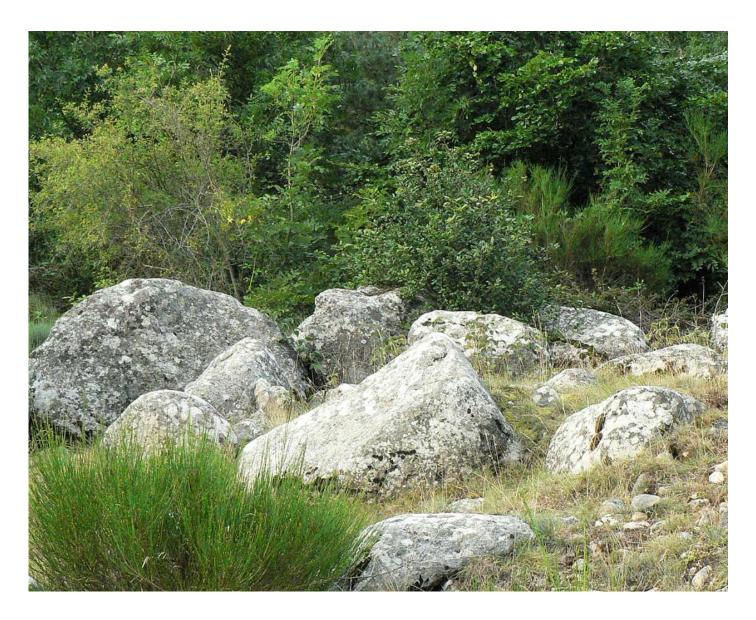
POSITION DU DOMAINE DES SCHISTES VERTS DANS UN DIAGRAMME TEMPÉRATURE-PRESSION

La zone centrale du faciès " schistes verts " correspond à une température supérieure à 400°C, et à une profondeur de l'ordre de 20 km. (document Wikipedia, Liondelyon)

Faciès métamorphiques

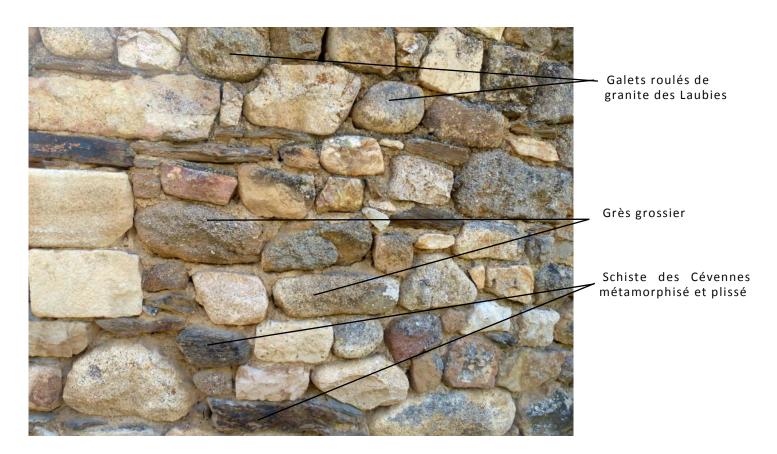


Blocs du granite des Laubies



Les encroutements de lichens masquent la texture et les minéraux de la roche.

Un mur d'une maison de Vareilles : un musée de la géologie régionale entre le socle cristallin et le début de la série sédimentaire





scoop!

Un banc de grès grossier affleure à l'est de Vareilles. Il recoupe le chemin qui sort de la zone plate connue sous le nom de "Causse de Brajon" et conduit au "Mt Lozère", quelques dizaines de mètres avant la pancarte du Parc National.

C'est de là que provient le grès qui a servi (jusque dans les années 1950) aux murs de Vareilles (Elie Buisson, communication personnelle).

Portion d'échelle des temps géologiques

La portion d'échelle (relative et absolue) des temps géologiques présentés ci-dessous est basée sur celle de la Commission Internationale de Stratigraphie. Les dates et incertitudes sont celles de l'échelle publiée en 2012 par ladite commission. Ces incertitudes sont le fait de mesures liées à la datation.

Pas de panique! L'hermétisme des termes (hélas indispensables) désignant les <u>étages²⁸</u> ou les <u>époques²⁸</u> de l'échelle stratigraphique relative est liée à une tradition historique (voir texte).

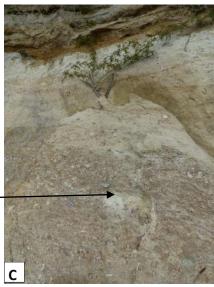
| Jurassique | Supérieur | <u>Tithonien</u> | | | Mammifères <u>marsupiaux,</u> premiers <u>oiseaux</u> ;premières |
|------------------------------|--|--------------------------|---------|-----|---|
| <u>ourassique</u> | Malm | Halomon | 152,1 | 0,9 | plantes à fleurs. |
| | | Kimméridgien | 157,3 | 1,0 | |
| | | Oxfordien | 163,5 | 1,0 | |
| | Moyen Dogger | Callovien | 166,1 | 1,2 | |
| | DOGGOL | Bathonien | 168,3* | 1,4 | |
| | | Bajocien | 170,3* | 1,4 | |
| | | Aalénien | 174,1* | 1,0 | |
| | Inférieur Lias | Toarcien | 182,7 | 0,7 | Division de la Pangée |
| | January. | Pliensbachien | 190,8* | 1,0 | |
| | | Sinémurien | 199,3* | 0,3 | |
| | | Hettangien | 201,3** | 0,2 | |
| <u>Trias</u> | <u>Supérieur</u> | <u>Rhétien</u> | 208,5 | - | Extinction du Trias-Jurassique (environ 50 % des espèces) Premiers <u>dinosaures</u> , <u>mammifères ovipares</u> ; <u>algues calcaires</u> dans les mers ; forêts de conifères. |
| | | Norien | 228 | - | · i |
| | | Carnien | 235* | - | |
| | <u>Moyen</u> | <u>Ladinien</u> | 242,0* | - | |
| | | Anisien | 247,2** | 1,5 | |
| | Inférieur | <u>Olénékien</u> | 251,2** | 0,7 | |
| | | Induen | 252,2* | 0,5 | |
| <u>Permien</u> | Lopingien | Changhsingie <u>n</u> | 254,2* | 0,1 | Extinction du Permien-Trias (95 % des espèces marines, 70 % des espèces terrestres) |
| | | Wuchiapingie n | 259,9* | 0,4 | |
| | Guadalupien | <u>Capitanien</u> | 265,1* | 0,4 | |
| | | <u>Wordien</u> | 268,8* | 0,5 | |
| | | <u>Roadien</u> | 272,3* | 0,5 | |
| | <u>Cisuralien</u> | Kungurien | 279,3** | 0,6 | |
| | | <u>Artinskien</u> | 290,1** | 0,1 | |
| | | <u>Sakmarien</u> | 295,5** | 0,4 | |
| | | <u>Assèlien</u> | 298,9* | 0,2 | |
| Fin du <u>Carbonifère</u> | Pennsylvani en cf. <u>Silésien</u> | <u>Gzhélien</u> | 303,7 | 0,1 | Insectes géants; premiers reptiles; arbres primitifs de grande taille; fossilisation importante de matière organique |

Panorama de la discordance post-hercynienne du Pompidou



La photo montre bien les calcaires horizontaux de la Can de l'Hospitalet, littéralement posés sur ce qui reste de la pénéplaine post-hercynienne constituée par les schistes métamorphisés et plissés des Cévennes.





B/ La route passe au niveau du contact et les premiers sédiments déposés sont constitués par une barre de grés grossiers dans laquelle se reconnaissent distinctement parmi les grains de quartz résultant de l'érosion du socle cévenol, des éléments grossiers, des cailloux peu érodés (**C**), indiquant que le continent ne devait pas être très loin.

Ce paysage témoigne ainsi d'un des événements majeurs de l'Histoire de la Terre : l'envahissement par la mer d'un continent arasé par une mer dans laquelle s'est déposée postérieurement une épaisse séquence sédimentaire. C'est cet événement nommé « transgression marine » qui sert de séparation entre l'Ère Primaire (= Paléozoïque) et l'Ère Secondaire (= Mésozoïque). La photo montre bien les calcaires horizontaux de la Can de l'Hospitalet, littéralement posés sur ce qui reste de la pénéplaine post-hercynienne constituée par les schistes métamorphisés et plissés des Cévennes.

Panorama de la discordance post-hercynienne de Barre-des-Cévennes



Le paysage est identique à celui que l'on voit au-dessus du Pompidou.

Au premier plan : série métamorphique schisteuse du socle.

En arrière plan : strates subhorizontales de calcaires magnésiens Hettangien discordants





Le village est construit sur la discordance même et la rue supérieure est bordée par les dépôts du début de la série sédimentaire qui commence, comme au Pompidou, tout proche, par une barre de grès grossier.

Discordance post-hercynienne sur la route de Mende à Bagnols les Bains



L'échelle est donnée par le panneau routier, au centre de la photo. On voit le granite de la Margeride (altéré) surmonté par quelques strates de dolomie capucin (Hettangien).

La discordance représente 100 Ma. Elle se situe entre le granite et la dolomie.



Discordance post-hercynienne sur la route 88 au nord de Pelouse

On voit le granite de la Margeride (altéré en arènes claires) surmonté par des niveaux détritiques bruns (base de l'Hettangien), eux-mêmes surmontés par des strates de "dolomie capucin" (Hettangien). La discordance représente(?) une durée de 100 Ma. Elle est remarquablement soulignée par le contraste de couleur entre les arènes granitiques claires et les niveaux détritiques bruns).

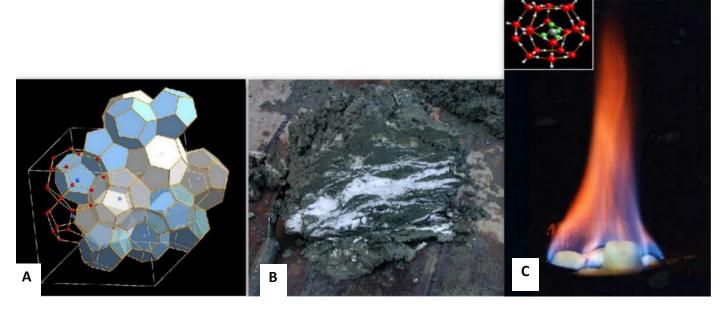
L'échelle est donnée par le piquet de balisage routier à gauche de la photo





Clathrates

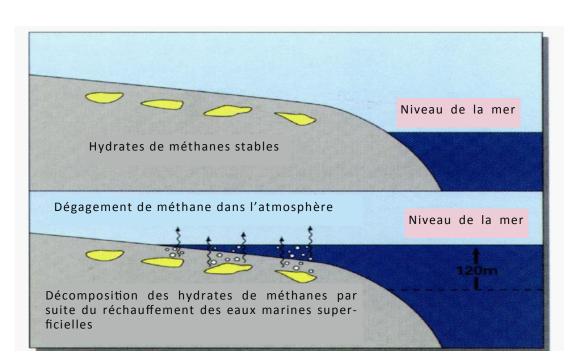
Le principal clathrate est l'hydrate de méthane



A Structure cristallochimique des Clathrates (chaque molécule de gaz est emprisonnée dans un polyèdre régulier dont les sommets sont constitués par des molécules d'eau. (Dessin Wikimedia, Andrzej Falenti).

B Clarathes solides glacés, interstratifiés dans un sédiment meuble qui vient d'être vraisemblablement carotté dans l'océan (Photo Wikimédia, Wuzel1007).

C Clathrates en voie de combustion : la " glace qui brûle ". Document Wikimédia, IqRS)



Un réchauffement climatique excessif peut aboutir à la décomposition des hydrates de méthane piégés dans l'océan et à la relaxation dans l'atmosphère des méthane gazeux " redoutable gaz " à effet de serre ".

Schéma Wikimédia, Dr William Dillon, US Geological Survey / Geo Swan).

Roches de la base de l'Hettangien

Contrairement à ce qu'on répète aux débutants, les murs sont des alliés précieux des géologues, mais il faut les utiliser avec discernement.



Un moellon, représentatif de la base de l'Hettangien, dans un mur de Vareilles (matrice sombre de débris schisteux)



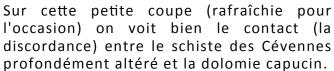
Idem, mais granularité moins grossière, et absence de matrice sombre. C'est un sédiment semblable qui s'observe au-dessus de la discordance dans les sites du Pompidou et de Barre-des-Cevennes



Ce moellon de grès (dans le mur d'une maison à Lozerette) présente un réseau de canalicules qui attestent l'existence d'animaux fouisseurs dans le sable encore meuble.

La dolomie capucin









Aspect de la dolomie capucin près du col de Montmirat

Partie inférieure de l'Hettangien (dolomie cubique)

(causse d'Auge, environs de Mende)

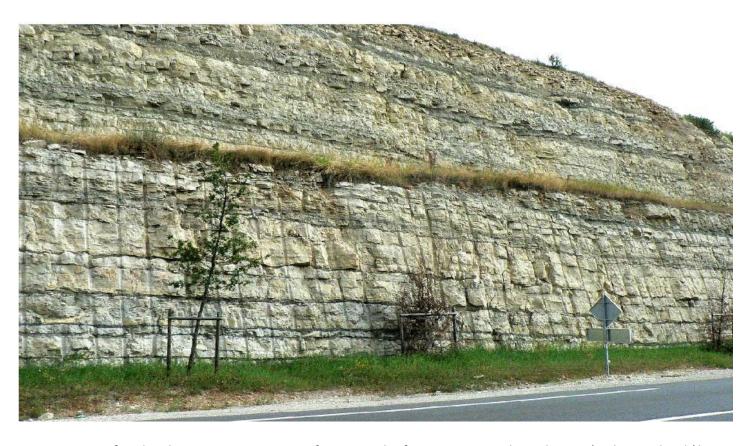


Entre les bancs durs de calcaire magnésien, on remarquera les interbancs meubles, d'argile verdâtre (d'origine continentale).



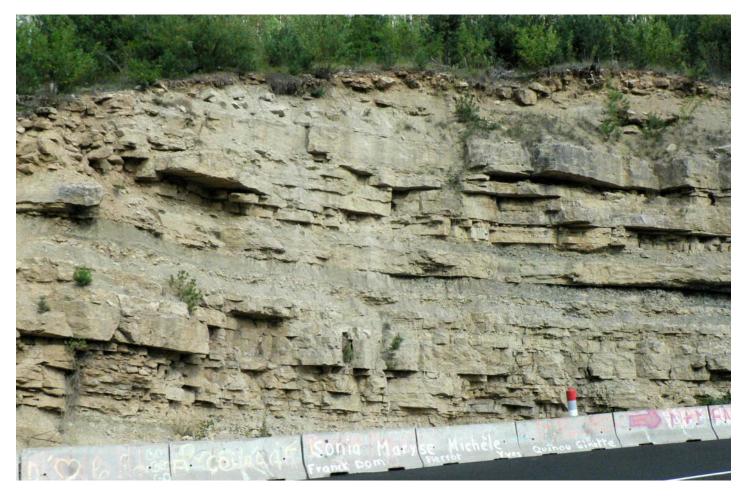
Partie inférieure de l'Hettangien

À la sortie du viaduc de Rieucros, causse d'Auge, environs de Mende



Ne pas confondre les traits verticaux faits par la foreuse avec des plans résultant du débit "cubique" de la roche.

Dolomie cubique



Route entre Chabrits et Barjac

Brachyphyllum (genre de conifère ancien)



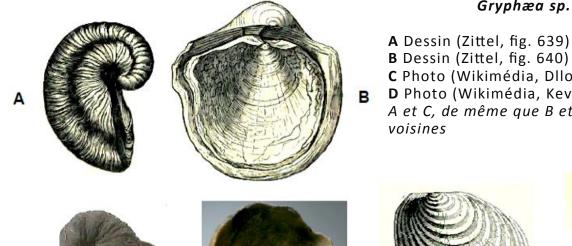


Les deux échantillons : Wikimédia, Ghedoghedo

Mollusques lamellibranches



Gryphées silicifiées, provenant de la base du Carixien (lit de la Nize en amont de La Roche).



Gryphæa sp. (Lamarck)

A Dessin (Zittel, fig. 639)

C Photo (Wikimédia, Dlloyd)

D Photo (Wikimédia, Kevin Walsh)

A et C, de même que B et D sont des espèces



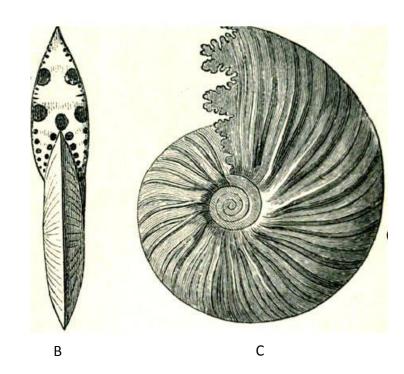


E Dessin de *Posidonomya becheri* Bronn (Zittel, fig. 634)

F Dessin de Trigonia navis (Zittel, fig. 654)

Oxynotoceras oxynotum Quenstedt





A Photo de face (Wikimedia, Kevin Walsh)

B Dessin de profil (Zittel, fig. 1198)

C Dessin de face (idem)

On remarquera les lignes de suture en **A** et en **C**. L'ombilic, absent en **A**, est représenté en **C**.

Les calcaires du Carixien



La coupe du Carixien supérieur à Langlade-Préfontaines, récemment rafraîchie à l'occasion de l'élargissement de la route.



Aspect du Carixien au dessus de La Roche (au sud). Les bancs de calcaire compact sont à l'origine de cette "pierre bleue" redoutée de tous les perceurs de murs.

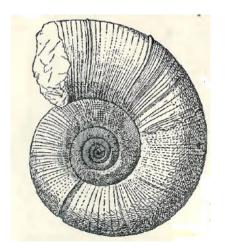


Le sommet du Carixien avant Varazous

Lytoceras (Suess)



Origine : valat du Salès ; collection particulière



Lytoceras Liebigi (Oppel sp.) (Zittel, fig 1192)



Photo: Michel Gendrault 2002

Aspects des Terres bleues dans le Valdonnez



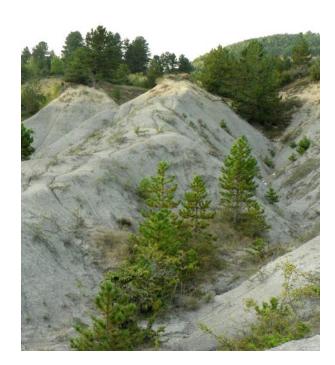
Les grandes Terres bleues de Brenoux



Les grandes Terres bleues de Lentondre



Au-dessus de la zone artisanale du Sécheron



Lieu-dit "Terres-bleues" à Lanuéjols

L'aspect de "bad-land" qui caractérise si bien les Terres bleues était beaucoup plus prononcé pendant mon enfance : leur boisement rapide atteste la diminution de la pression pastorale ovine et le dynamisme pionnier du pin noir d'Autriche... tout comme sur le causse de Mende que j'ai connu totalement déboisé.

Nautilus pompilius (actuel)



Image de l'animal vivant : on voit un de ses gros yeux, de nombreux tentacules et l'opercule grâce auquel il peut clore sa coquille. Photo Wikipedia, auteur : Hans Hillewaert



Coquille vide de nautile Photo Wikipedia, auteur : Mortadelo2005



Coupe transversale dans une coquille de nautile : la grande loge est celle où vit l'animal.

Photo Wikipedia, auteur : Chris 73

"Les Nautilus pompilius sont des mollusques céphalopodes (poulpes, seiches et calmars), aux caractéristiques particulières :

Leurs tentacules nombreux (environ 90) ne comportent pas de ventouses. Leur coquille est développée et enroulée vers l'avant, en forme de spirale. L'intérieur est cloisonné en différentes loges. Le corps du nautile occupe la dernière loge, qui est la plus grande. Un siphon traverse les cloisons. Les loges que n'occupe pas l'animal contiennent un mélange de gaz et de liquide. Ces animaux possèdent 4 branchies. Ils se déplacent par réaction en projetant de l'eau via un entonnoir. Ils peuvent également ramper lorsqu'ils se trouvent sur un sol solide. En faisant varier la proportion gaz-liquide dans les loges de la coquille, les nautiles peuvent s'enfoncer ou s'élever dans l'eau.

Leurs yeux sont constitués de simples chambres noires ouvertes par une pupille étroite.

On trouve les nautiles près de certaines îles du Pacifique et au large des côtes australiennes. Ils abondent à environ 400 mètres de profondeur et se nourrissent de déchets organiques.

Ces animaux, proches des ammonites, ont peu évolué depuis 400 millions d'années." Wikipedia

Amaltheus margaritatus







Cette belle ammonite plate commune dans toutes les Terres bleues, est reconnaissable à son élégante carène cordée. Origine Terres bleues du Lac, collection particulière





Harpoceras falciferum
Origine Terres bleues de Langlade, collection
particulière







Harpoceras elegans Sowb. Source Wikimedia

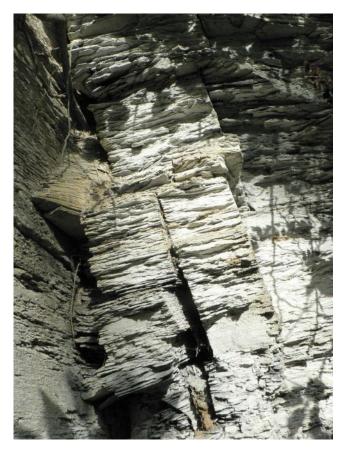
Terres bleues + Aalénien de Balduc

Domérien et Toarcien sont représentés par des "Terres bleues "visiblement stratifiées. Les schistes cartons ne sont pas clairement observables sur la photo.

L'Aalénien est constitué par des couches marno-calcaires de passage, puis par des calcaires formant un abrupt, surtout visible dans la partie gauche du document.



Schistes cartons







Cette formation épaisse de 2 à 3 m, affleure sur le flanc d'un valat du Devès de Balduc en face de Venède.







La même formation se retrouve de l'autre côté de la vallée dans le valat des Combes à l'ouest de Venède. Cette "bibliothèque" recèle entre ses pages de nombreuses empreintes d'ammonites.

Hildoceras bifrons (Brug.)





Hildoceras bifrons
Remarquer la carène sillonnée par deux plis à l'origine du nom d'espèce : bifrons
(Origine Terres bleues de Langlade. collection particulière)



Les paléontologues supposent, avec quelque raison, que les ammonites (dont les parties molles n'ont jamais été retrouvées) étaient organisées comme l'actuel nautile.

Terres bleues du Toarcien à Lanuéjols



Reptiles marins

Ils ont vécu pendant une grande partie de l'ère Mésozoïque, et sont apparus il y a 250 Ma, légèrement avant les dinosaures (230 Ma) et ont disparu il y a 90 Ma, soit 25 Ma avant l'extinction massive de la majorité des dinosaures, peut-être à cause de la concurrence d'autres lignées prédatrices marines telles celles des Pliosaures et des Mosasaures.

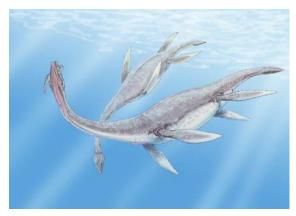




- A) Ichtyosaure, reconstitution artistique (Wikimedia, Nobu Tamura)
- B) Squelette d'Ichtyosaure, photo (Wikimedia, Dismachus / Bricktop)



Elasmosaure, reconstitution artistique (Wikimedia, ArthurWeasley)

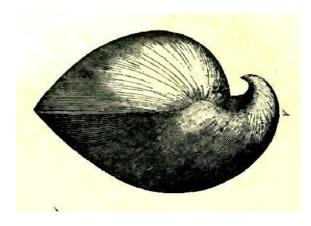


Plésiosaure, reconstitution artistique (Wikimedia, Dimitri Bogdanov / DiBgd)

Plésiosaure, reconstitution artistique (Wikimedia, Glimz)



Images de quelques Brachiopodes



Stringocephalus burtini (Defr.), brachiopode typique (dessin Zittel, Fig 548 A)



Liospiriferina rostrata (Owen et Rose), brachiopode montrant le squelette spiralé (exceptionnellement silicifié) du "lophophore", organe qui permettait à l'animal de filtrer le plancton pour se nourrir (photo Wikimedia, Archaedontosorus)







Rhynchonella sp.
Origine Terres bleues de Langlade, collection particulière

Térébratules

Terebratula sp. (Müller) Jurassique, Document Wikimedia, Drow_Male



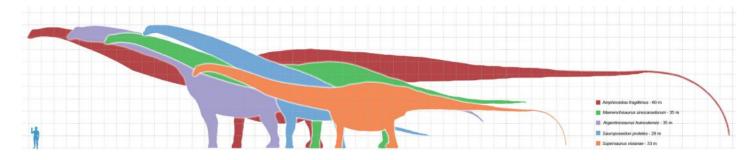


Terebratula ampulla (Brocchi) Pliocène Document Wikimedia, Drow_Male

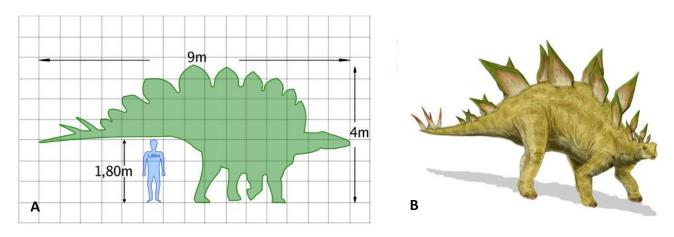
Les **térébratules** sont des Brachiopodes **marins fixés**. Ils sont présents sur l'ensemble de la surface de la terre, actuellement et dans le registre fossile (depuis le Dévonien), mais leur présence actuelle est limitée à certaines zones.

Le terme de térébratule ne désigne pas un rang taxonomique particulier, mais une morphologie.

Dinosaures herbivores (Sauropodes)

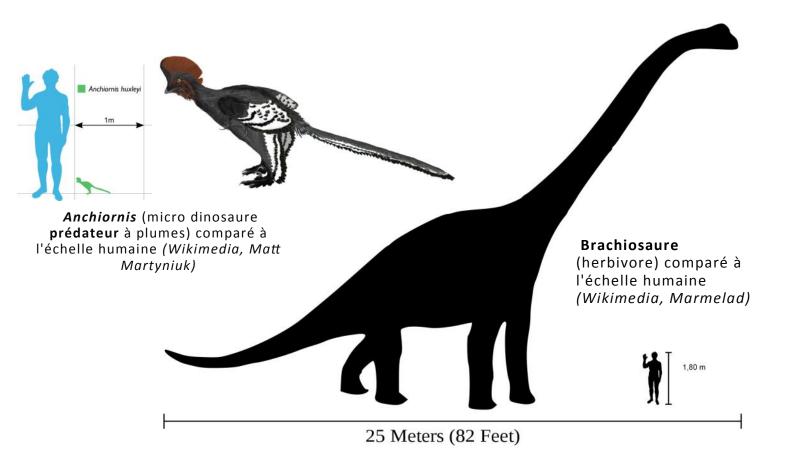


Sauropodes géants (herbivores) du type Diplodocus-Brontosaure comparés à l'échelle humaine (Wikimedia, Matt Martyniuk)



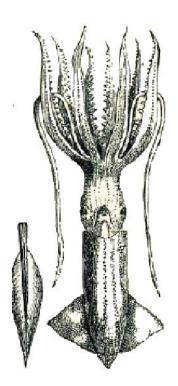
A Stégosaure (herbivore) comparé à l'échelle humaine (Wikimedia, BetacommandBot)

B Stégosaure (herbivore) reconstitution artistique (Wikimedia, Nobu Tamura)



les Bélemnites

Ce sont des Mollusques céphalopodes apparentés aux sèches et calmars actuels.



Leur squelette interne comporte deux parties : le rostre plein, en balle de fusil, et le phragmocône, cloisonné, contenant une partie du corps de l'animal. Le phragmocône était traversé par un siphon et se prolongeait vers l'avant par une lame cornée, le proostracum, rarement conservé.

Ci-contre : *Enoploteuthis leptura* (actuel) ressemble fort à ce que devait être une Bélemnite, mis à part le squelette interne, réduit ici à une " plume " fine.

Les bélemnites possédaient une poche à encre, comme les seiches. Leurs bras ne portaient pas de ventouses, mais de petits crochets pour capturer leurs proies. Elles étaient elles-mêmes consommées par certains Ichtyosaures (reptiles marins).

Certaines étaient gigantesques : la plus grande bélemnite connue, *Megateuthis gigantea*, possédait un rostre atteignant 70 cm et on évalue sa longueur totale à 3,5 m.





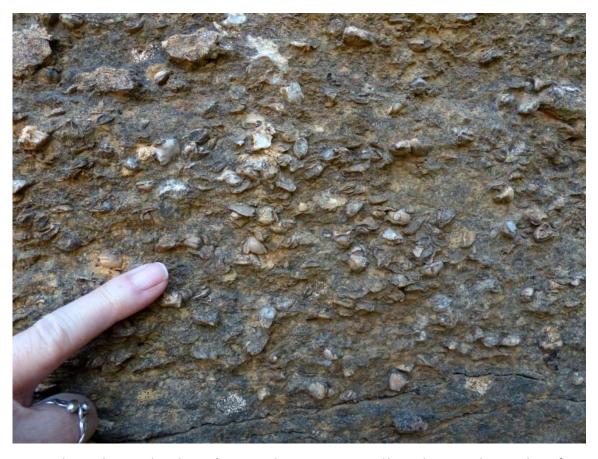


Éléments du squelette de Bélemnites (origine Terres bleues de Langlade)

Les rostres seuls (à gauche) sont les plus fréquents. L'image du centre montre un rostre et un phragmocône anatomiquement liés. À droite : un phragmocône isolé sur lequel se voit bien le cloisonnement transversal.

Le Bajocien inférieur

La corniche du causse de Mende, point de vue sur le Valdonnez

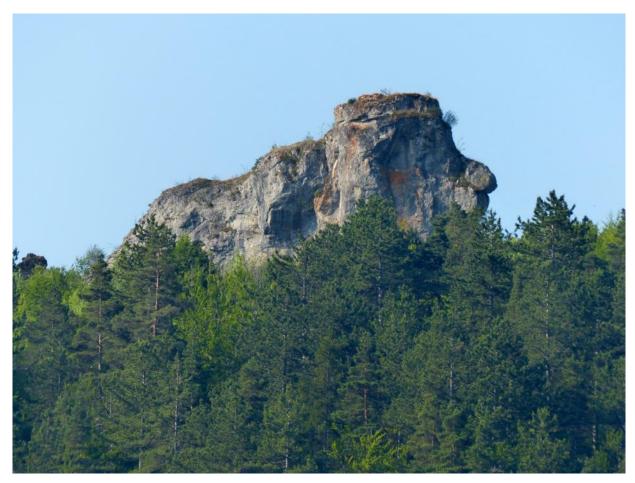


Ces niveaux dans lesquels de très nombreuses coquilles de Brachiopodes font saillie s'observent le long du chemin, quelques dizaines de mètres après le panneau explicatif.

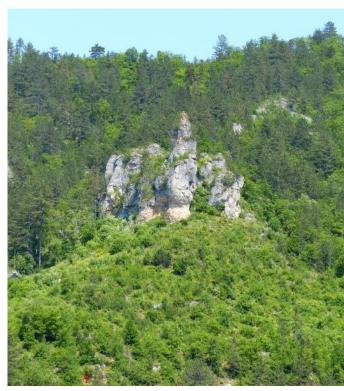




Le bajocien supérieur



Le "lion couronné" (au sud de Balsièges)



Le Rocher de Moïse, vallée du Lot en aval du Pont neuf



Les Cheyrouses, Causse de Sauveterre au sud de Balsièges, paysage ruiniforme rappelant celui de Nîmes-le-Vieux (Col du Perjuret).

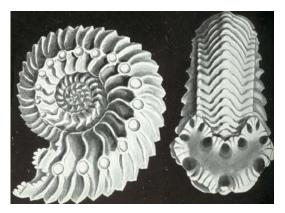
Fossiles callovo-oxfordiens du causse de Changefège



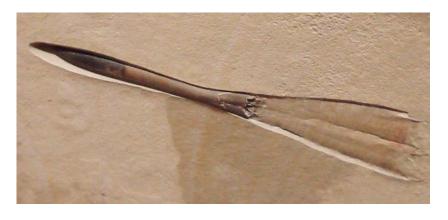
Ochetoceras canaliculatum Von Buch (photo Wikimedia, H. Zell)



Perisphinctes Waagen. sp. (photo Wikimedia, Masur)



Cardioceras cordatum Sowb. (Dessin original de E. Haeckel, in Wikimedia, présenté par Kevmin)



Hibolites semisulcatus Münster, (photo Wikimedia, Ghedoghedo)

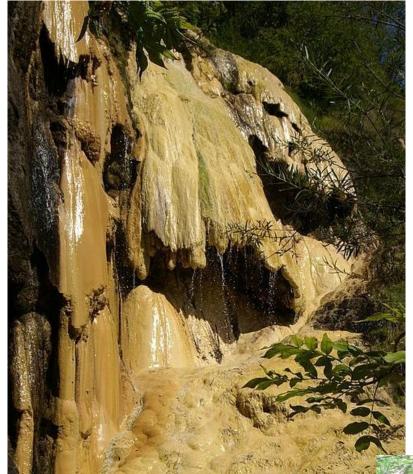
Éboulis de pente cimentés (grèzes litées)

(Balsièges, derrière l'hôtel du Lion d'Or)





Tuffières



Tuffière en Autriche (Vorarlberg) (photo Wikipedia, böhringer friedrich)

La tuffière de Chailhac, au pied du causse est un site classé "Natura 2000", à visiter.



Aalénien de Balduc



On observe la succession, en alternance, de bancs de calcaire argileux et d'interbancs marneux, (série de passage du Toarcien à l'Aalénien), surmontée par l'abrupt des calcaires aaléniens, plus massifs.



Le "Rocher de Camargue "offre une vue impressionnante sur les calcaires aaléniens à stratification onduleuse. La série marno-calcaire de passage du Toarcien à l'Aalénien est en revanche peu visible.

Pleuroceras HYATT



Photo de *Pleuroceras* (Hyatt) (Wikimedia, *Hectonichus*)



Photo de *Pleuroceras spinatum* (Brug.) (Wikimedia, *Didier Descouens*, prov.Lanuéjols)

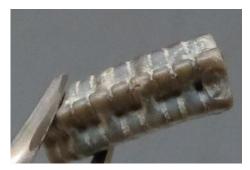
Crinoïdes



Crinoïdes avec leurs pédoncules articulés Wikipedia, photo Berengi



De telles petites étoiles se rencontrent parfois isolément dans les Terres bleues Articles de pédoncule = entroques. Wikimédia, photo Wilson





Pentacrinus basaltiformis (Miller)
Fragments d'un empilement d'articles étoilés issus du "pédoncule" d'un crinoïde.

Origine Terres bleues de Brenoux, collection particulière



Photo Alias Collections, Wikipedia

Malgré une morphologie rappelant celle d'un végétal — forme à laquelle ils doivent le nom commun de « Lis de mer » — les **crinoïdes** (du grec krinon, lis, et eidos, forme) **sont des animaux**. Ils appartiennent à l'embranchement des Échinodermes, leurs plus proches parents dans le monde vivant sont les oursins, les étoiles de mer et les holothuries. Les crinoïdes sont des animaux à test calcaire possédant une « racine » et une « tige, » terminée par un calice muni de longs bras segmentés et flexibles leur permettant de filtrer dans l'eau les particules nutritives. Les premiers crinoïdes sont attestés à l'ordovicien, période débutant il y a 490 millions d'années environ. Ils sont aujourd'hui cantonnés aux mers tropicales bien qu'il en existe deux espèces en Méditerranée. Wikipedia

NOTES INFRAPAGINALES

- 1) 2,5 millions d'années-lumière (environ) nous séparent de la galaxie d'Andromède, la plus proche de la nôtre (la Voie Lactée), une année-lumière valant approximativement 10 000 milliards de km.
- 2) Les particules subatomiques (qui composent les atomes) ont des tailles qui se mesurent en milliardièmes de microns (1 micron = 1 millième de millimètre = 1 millionième de mètre). Par exemple, le " diamètre " de l'électron (que personne n'a jamais vu mais qu'on considère à priori comme sphérique), mesure environ cinq milliardièmes de micron.
- **3) Une nanoseconde** (ns) vaut un milliardième de seconde. La durée de vie d'une particule éphémère fabriquée dans un accélérateur géant, comme celui du CERN, se mesure en nanosecondes (elle est, en moyenne, de l'ordre de 10 ns).
- 4) Orogénèse est le terme scientifique désignant l'ensemble des mécanismes de formation des montagnes. Dans le cas particulier d'une collision continentale, l'orogenèse résulte, comme son nom l'indique, de la collision entre deux masses continentales....Dans ce cas précis le modèle (théorique) de la " tectonique des plaques " explique ce qui suit : quand deux " plaques " continentales, de même nature et de même densité se rencontrent, le moteur du mécanisme (ici, le mouvement de convergence des plaques) se bloque. Il n'est pas assez puissant pour faire plonger l'une des plaques... en profondeur. Les deux plaques se compriment alors et se soudent pour n'en former qu'une seule..... La collision conduit au raccourcissement de l'écorce terrestre. Au contact des deux masses continentales, la compression provoque des raccourcissements horizontaux, (notamment avec des plissements) et des épaississements verticaux (première cause de création de reliefs). De plus, les dépôts sédimentaires sont soumis à d'importantes déformations en compression fréquemment responsables de l'apparition, dans les roches, d'un feuilletage perpendiculaire aux forces de compression et indépendant de la direction du plan de stratification : la schistosité. Par suite de la collision, ces mêmes dépôts sédimentaires peuvent se trouver entraînés à des profondeurs où règnent (notamment) des conditions de température et de pression considérablement plus élevées que celles de la surface à tel point que les minéraux qui constituent les sédiments ne sont plus stables dans leur nouvel environnement. Ils se transforment souvent en minéraux nouveaux, stables dans les conditions physico-chimiques qui prévalent en profondeur. Le processus se déroule entièrement à l'état solide et sans changement global de la composition chimique de la roche : on lui donne le nom de métamorphisme. L'étymologie du terme vient du grec : les roches qui ont subi le métamorphisme (meta = après) ont fréquemment un aspect (morphê) très différent de leur aspect originel.
- 5) Pour un ensemble de terrains géologiques, la **rigidité** implique l'absence de déformations souples (comme les plis), mais les déformations cassantes (comme les failles) restent tout à fait possibles.
- **6)** Les roches sédimentaires proviennent de l'accumulation de sédiments qui se déposent en couches. Ce sont des roches stratifiées... qui se forment à la surface de l'écorce terrestre. Les roches sédimentaires affleurent sur 75 % de la surface des continents, mais en considérant l'ensemble de la croûte terrestre (depuis la surface jusqu'à 35 km de profondeur sous un relief plat), elles ne constituent plus que 5 % de son volume total.
- 7) En géologie, un socle, appelé aussi socle cristallin, désigne... un ensemble rocheux induré composé de roches métamorphiques plissées ou de roches magmatiques formées au cours d'un ou plusieurs cycles orogéniques. Ces séries rocheuses sont ensuite pénéplanées. Le socle est alors recoupé par une surface de discordance sur laquelle repose éventuellement une couverture sédimentaire.
- 8) Une discordance (stratigraphique) ou surface de discordance (du latin discordare, être en désaccord) est une ancienne surface d'érosion séparant un ensemble de terrains affectés par une phase tectonique, d'un autre ensemble de terrains qui eux n'ont pas été affectés par l'événement tectonique car déposés postérieurement.
- 9) voir: 4 Orogenèse

- 10) En géologie, la notion de "faciès " désigne habituellement l'ensemble des caractères descriptifs qui permettent de distinguer un objet, indépendamment de sa taille ; (étymologiquement, "faciès "désigne l'aspect caractéristique de la face d'un individu). Exceptionnellement la notion de "faciès métamorphique ", introduite par le géologue finlandais Eskola, n'a aucun rapport avec l'aspect des roches. Elle ne désigne qu'un domaine (représenté par une surface d'étendue approximative) dans un diagramme plan de température-pression. Chaque domaine est (regrettablement) appelé par le nom d'une roche. La figure 2 fournit les noms des principaux faciès métamorphiques (= domaines Température-Pression)
- 11)Le magma est de la roche en fusion contenant des gaz dissous. Il se forme à haute température et sous haute pression par fusion plus ou moins complète de la croûte continentale (granites, 650-950°C) ou fusion partielle du manteau (basaltes, 1200-1400°C).

Le magma, moins dense que la roche solide qui l'entoure, est entraîné vers le haut par la poussée d'Archimède... Lors de la remontée de la roche liquide vers la surface, le magma se refroidit et peut cristalliser en profondeur pour former un " pluton " (c'est le cas des granites). Si le magma atteint la surface (cas des basaltes et des andésites), il jaillit par les cratères des volcans sous forme de lave dont la richesse en silice dictera le caractère fluide (basaltes, relativement pauvres en silice, volcanisme fuide) ou visqueux (andésites, plus riches en silice, volcanisme explosif). La formation de magmas reste exceptionnelle. Contrairement à une idée assez répandue, les roches à l'intérieur de la Terre sont généralement solides, au moins dans la croûte (mince et superficielle).

- 12) Le mot pénéplaine provient de l'anglais peneplain, formé sur le mot latin paene (presque) et le mot anglais plain (plaine). Il désigne ... un large espace avec de faibles dénivellations, qui résulte d'une longue érosion.... (on notera que le mot anglais plain vient de l'ancien français " **plain** " lequel vient lui-même du latin planus plan, plat, uni, égal , sans aspérité). Pendant et après sa formation chaîne de montagne subit l'érosion. Par poussée d'Archimède, une " racine crustale*" compense cette érosion (grâce à ce mécanisme des roches constituées en profondeur remontent en surface). Puis, quand la remontée s'achève, la chaîne de montagne est érodée : on appelle cette forme de relief une pénéplaine. On dit alors que la montagne, désormais sans reliefs, est " vieille. "
- *Une racine crustale est l'épaississement en profondeur de la croûte continentale qui survient lors de la collision entre deux plaques continentales. Les montagnes dites " jeunes " sont celles qui possèdent encore, en profondeur, leur racine crustale (au moins en partie), d'où leurs reliefs élevés (Alpes, Cordillère des Andes, Himalaya...). Les modestes reliefs de la région du mont Lozère ne doivent rien à la présence d'une racine crustale (même partielle). Celle-ci a définitivement disparu par érosion, il y a plus de deux cent cinquante millions d'années. Les reliefs observés ont une autre origine (récente et à vrai dire mal connue).
- 13) D'après la carte géologique de la France au 1/50 000ème, notamment les feuilles de Florac, n° 886 et St André-de-Valborgne, n° 911
- **14) Lethally Hot Temperatures During the Early Triassic Greenhouse** (Effet de serre responsable d'une élévation létale des températures, pendant le Trias inferieur) Yadong Sun, Michael M. Joashimski, Paul B. Wignall, Chunbo Yan, Yanlong Chen, Haishui Jiang, Lina Wang, Xulong Lai. **SCIENCE**, 19 October 2012, Vol. 338, no 6105, pp. 366-370.
- 15) Les conodontes sont des formes denticulées fossilisées apparues au Pré-Cambrien et disparaissant au Trias, lors d'une extinction connue à la fin de cette période. Ce fossile représenterait information à prendre avec du recul les dents d'un certain vertébré (appartenant donc à l'embranchement des chordés). Des fossiles de ce vertébré auraient présenté un appareil dentaire complété de pièces (conodontes) au niveau de ce qui aurait pu être leur tête. Ces vertébrés auraient mesuré une quarantaine de millimètres en moyenne pour des " conodontes " de très petite taille (0,1 mm à 2 mm). Le vertébré supposé aurait possèdé des yeux et aurait pu ressembler à une anguille actuelle (en bien plus petit).

- 16) Multiple Early Triassic greenhouse crises impeded recovery from Late Permian mass extinction (Crises multiples liées à l'effet de serre et s'opposant au rétablissement de conditions biologiques favorables pendant le Trias inférieur, postérieurement à l'extinction de masse de la fin du Permien) Gregory J. Retallack , Nathan D. Sheldon, Paul F. Carr, Mark Fanning, Caitlyn A. Thompson, Megan L. Williams, Brian G. Jones, Adrian Hutton PALAEOGEOGRAPHY, PALAEOCLIMATOLOGY, PALAEOECOLOGY, Volume 308, Issues 1-2, 15 July 2011, pp. 233–251
- 17) Smithian-Spathian boundary event: Evidence for global climatic change in the wake of the end-Permian biotic crisis (Événement de la limite Smithien-Spathien: mise en évidence d'un changement climatique planétaire, à la suite de la crise biologique de la fin du Permien) Thomas Galfetti, Peter A. Hochuli, Arnaud Brayard, Hugo Bucher, Helmut Weissert and Jorunn Os Vigran. GEOLOGY, April 2007, pp. 291-294.
- 18)Les trapps (escalier en suédois) sont de très vastes plateaux continentaux constitués d'épais dépôts de roches basaltiques.
- 19) Les trapps de Sibérie comptent parmi les plus importants connus. Les épanchements volcaniques géants donnant naissance à des trapps sont (heureusement pour les êtres vivants) des phénomènes rares. Actuellement, on en compte actuellement moins de dix pour les derniers 540 millions d'années de l'histoire de la Terre. Curieusement ils semblent correspondre, à chaque fois, à des crises d'extinction massive des espèces vivantes.
- 20)Les hydrates de méthane (ou clathrates) sont des composés d'origine organique naturellement présents dans les fonds marins, sur certains talus continentaux ... La formation de ces hydrates constitue l'un des puits de carbone planétaires, mais ils sont très instables quand la température dépasse un certain seuil.
- 22) Die Enstehung der Kontinent. Alfred Wegener. GEOLOGISCHE RUNDSCHAU, 1912, 3, pp. 276-29
- 23) En écologie, l'anoxie décrit le manque de dioxygène (O2) dissous d'un milieu aquatique ou d'un sédiment immergé. Latest Permian mercury anomalie. Hamed Sanei, Stephen E. Grasby, Benoit Beauchamp. GEOLOGY, 2012, vol. 40(1), pp. 63-66
- **24**) Latest Permian mercury anomalie. Hamed Sanei, Stephen E. Grasby, Benoit Beauchamp. GEOLO-GY, 2012, vol. 40(1), pp. 63-66
- **25)** Bedout: A Possible End-Permian Impact Crater Offshore of Northwestern Australia L. Becker, R.J. Poreda, A.R. Basu, T.M. Harisson, C. Nicholson, R. Iaski SCIENCE, 4 June 2004: Vol. 304, no. 676, pp. 1469-1476.

- **26)** Le rasoir d'Ockham est un principe de raisonnement philosophique ... également appelé principe de simplicité, ... Il peut se formuler comme suit : ... " les hypothèses suffisantes les plus simples sont les plus vraisemblables ". C'est un des principes méthodologiques fondamentaux en science, sans être pour autant à proprement parler un résultat scientifique. Son nom vient du philosophe franciscain Guillaume d'Ockham (XIVe siècle), bien qu'il fût connu avant lui .
- **27)** La niche écologique est un des concepts théoriques de l'écologie. Il traduit à la fois la "position " occupée par un organisme, une population ou plus généralement une espèce dans un écosystème, la somme des conditions nécessaires à un peuplement viable de cet organisme.
- 28) Sur l'échelle des temps géologiques, un étage géologique est une subdivision d'une époque géologique. Les fossiles sont les principaux critères de définition des étages ... Toutes les strates de même âge sont datées (en chronologie relative) par comparaison de leur contenu fossile avec celui du stratotype :

Ères (Temps fossilifères)

Paléozoïque ou Primaire • Mésozoïque ou Secondaire • Cénozoïque ou Tertiaire Systèmes, Époques, Étage.

- **29)** Le stratotype est l'affleurement-type (étalon) qui permet de définir un étage de l'échelle stratigraphique. Le nom de l'étage prend souvent comme racine le lieu géographique où se trouve le stratotype, auquel on ajoute le suffixe -ien.
- 30) Voir l'article de "Wikipédia "sur Hettanges-la-Grande.
- **31)** La limite Permien Trias : La crise majeure du monde vivant. Sylvie Crasquin. INTERNET. (On trouvera sous cette référence la localisation géographique précise de Meishan).
- **32)** On parle de dolomie quand une roche carbonatée, contient **plus de 50% de dolomite** (= carbonate double de calcium et de magnésium), et le reste de **calcite** (carbonate de calcium). On parle de **calcaire magnésien** quand une roche carbonatée contient **moins** de 50% de **dolomite** (généralement, pour moins de 10%, on parle simplement de calcaire.
- 33) Les gryphées sont des Mollusques lamellibranches proches des huîtres
- **34) Spathique** signifie ici que les **oolites** (ou oolithes) sont unies par un **ciment** de calcite transparente largement cristallisée, précipité **après** le dépôt des oolites. Les rédacteurs de la notice de la feuille du Bleymard écrivent, à la manière anglo-saxonne, : " **ciment sparitique** ", ce qui veut dire exactement la même chose.
- **37) Marne** : roche sédimentaire **meuble** contenant du calcaire CaCO3 et de l'**argile** en proportions à peu près équivalentes (l'argile peut être un peu plus abondante).
- **38)** Les bélemnites : Ce sont des Mollusques céphalopodes marins apparentés aux seiches et calmars actuels ayant vécu du Dévonien au Crétacé (-420/-65 Ma). Leurs fossiles les plus communs ont une forme caractéristique " en balle de fusil ". Leur nom vient du grec *belemnon* signifiant : semblable à une flèche. Leur vraie nature n'a été identifiée qu'en 1765.

- **39)** Les Ammonites forment une sous-classe éteinte des Mollusques céphalopodes. Elles apparaissent durant le Dévonien (durée : environ 50 Ma, de -420 à -370 Ma) et disparaissent peu après la crise Crétacé-Tertiaire (-65 Ma), qui a vu notamment l'extinction brutale des dinosaures terrestres. On pense qu'elles se caractérisaient, comme <u>les nautiles</u> actuels, par une coquille univalve (très souvent enroulée) dont seule la dernière loge était occupée par l'animal, les autres loges servant à contrôler sa flottaison. Leurs fossiles sont considérés comme d'excellents marqueurs chronologiques. Leur taille va de quelques millimètres, à plus de 2 mètres de diamètre.
- **40)** Euxinique: dans la mer (et plus généralement dans l'eau), on parle de conditions **euxiniques** (ou encore d'anoxie) quand l'oxygène dissous vient à manquer (il s'agit du dioxygène O₂, celui qui nous est indispensable). Dès lors, plusieurs phénomènes se produisent: la matière organique ne s'oxyde plus et se conserve (partiellement) à l'état d'hydrocarbures (couleur grise, plus ou moins foncée); le fer ne peut pas davantage s'oxyder et reste à l'état de fer ferreux (gris bleu); les bactéries sont obligées d'extraire l'oxygène nécessaire à leur vie à partir des sulfates (SO₄) contenus dans l'eau de mer; ce faisant, elle génèrent du sulfure d'hydrogène (H₂S), gaz mortel pour les autres êtres vivants; le fond de la mer devient complètement inhospitalier pour tous les animaux qui y vivent habituellement; le soufre, relativement abondant chez les êtres vivants, passe sous la forme (réduite) de sulfures (pyrite, marcassite ...): les coquilles (par exemple d'ammonites) se fossilisent en pyrite; la marcassite se retrouve dans des nodules dénommés " septaria "; etc. Le mot " euxinique " fait indirectement allusion à la Mer Noire (profonde, en moyenne, de plus de 1 000 m) où règnent de telles conditions à partir de 200 m de profondeur environ; en effet, les grecs de l'Antiquité appelaient la Mer Noire: " Pont Euxin ", d'où le mot.
- **41)** Lamellibranche : les lamellibranches sont des Mollusque à coquille bivalve. Tout le monde connaît les **moules** et les **huîtres** qui sont des lamellibranches. Les lamellibranches qu'on trouve, occasionnellement, à l'état fossile dans les " Terres bleues " sont considérablement plus petits que des moules.
- **42) Brachiopode**: les Brachiopodes sont des animaux vivant dans une coquille bivalve qui pourrait les faire confondre avec des Mollusques lamellibranches. Ils en sont pourtant très éloignés et appartiennent à l'embranchement des Lophophoriens. Connus depuis le Cambien (550 Ma) ils ont presque tous disparu pendant la crise permo-triasique et ne sont plus représenté de nos jours que par de discrets animaux marins benthiques. Les minuscules Brachiopodes que j'ai rencontrés jadis dans les Terres bleues semblent apparentés aux Rhynchonelles.
- **43) Entroques** : Les entroques sont des débris (= articles) de pédoncules de <u>crinoïdes</u>. Dans les Terres bleues (où on les trouve isolés dans les marnes) leur structure en étoile à cinq branches, souvent joliment décorée, les rend facilement reconnaissables.
- **44) Le musée de Millau** expose un très bel exemplaire de squelette **de plésiosaure** exhumé dans les "Terres bleues " des environs de la ville. (Voir Internet).
- **45) Actualisme**: Wikipédia en donne la définition suivante " L'uniformitarisme, ou actualisme, est un des principes de base de la géologie moderne. Il postule que les processus qui se sont exercés dans le passé lointain s'exercent encore de nos jours. L'adage " le présent est la clé du passé " résume la méthode qui en découle. Ce principe s'oppose au catastrophisme selon lequel les caractéristiques de la surface terrestre sont apparues soudainement dans le passé à partir de processus radicalement différents de ceux existant aujourd'hui. " Sous l'influence des paléontologues, l'actualisme se teinte aujourd'hui de catastrophisme.
- **46) Nérinées** : gastéropodes marins (escargots de mer) fossiles, à coquille très pointue, généralement de grande taille, présentant un épaississement caractéristique de la paroi de la coquille (adaptation aux eaux agitées du milieu récifal), épaississement réduisant d'autant le volume de la spire habitable.

47) Émergence : C'est un concept qui intervient lorsque des systèmes simples interagissent en nombre suffisant pour faire apparaître un certain niveau de complexité qu'il était difficile de prévoir par l'analyse de ces systèmes pris séparément. C'est un phénomène qu'on trouve notamment dans les... systèmes dynamiques comportant des rétroactions.

On peut définir l'émergence par deux caractéristiques : l'ensemble vaut plus que la somme de ses parties. Ceci signifie qu'on ne peut pas prédire le comportement de l'ensemble par la seule analyse de ses parties. l'ensemble adopte un comportement caractérisable sur lequel la connaissance détaillée de ses parties ne renseigne pas complètement. *Exemple* : les nombreuses caractéristiques de l'œuvre " À la recherche du temps perdu " ne peuvent pas être prédites à partir de l'observation (même minutieuse) des lettres ou des mots qui en constituent le texte.

- 48) pour ce qui concerne les individus pris isolément, on est au courant depuis environ cent mille ans.
- **49)** Les **points chauds** terrestres sont généralement expliqués comme étant la trace en surface, sous forme de **volcanisme**, d'endroits relativement fixes les uns par rapport aux autres, de l'interface noyau -manteau où la température est plus élevée qu'ailleurs.
- **50)** en 2010, une **éruption fissurale** (ridiculement bénigne) d'un volcan islandais (Eyjafjöll) a tout de même bloqué la circulation aérienne sur une bonne partie de la planète. Je me souviens à ce propos d'une caricature du " Canard enchaîné " qui attribuait à Claude Allègre la " solution " de boucher la cheminée du volcan avec de l'amiante.

Il reste que la sophistication dont nous sommes souvent fiers, reste une source éminente de vulnérabilité, notamment vis à vis des phénomènes naturels.

Questions -réponses

Quelle est l'origine des transgressions marines ?

Plusieurs causes peuvent aboutir à une élévation du niveau de la mer :

1) Le continent, notre "plancher des vaches "n'est pas aussi stable qu'on pourrait l'imaginer: s'il s'abaisse (on parle de subsidence) le niveau de la mer s'" élève " (... bien qu'il indique toujours, par définition l'altitude zéro!).

Il existe à Sète des voies romaines qui sont aujourd'hui sous trois mètres d'eau

- " À Pouzzoles, près de Naples, les colonnes du temple de Serapis sont perforées par des Mollusques marins, les Lithodomes, qui vivent dans les roches submergées. Or, ces perforations sont visibles aujourd'hui jusqu'à une hauteur de 3 mètres : le sol, sur lequel les Romains avaient construit le temple, s'est donc enfoncé peu à peu. En 1538, à la suite de l'éruption d'un volcan voisin, le Monte Nuovo, le rivage s'est exhaussé de plusieurs mètres en deux jours. Depuis, il s'enfonce de nouveau : le pied des colonnes baigne dans l'eau et des travaux ont dû être entrepris pour le consolider ".
- 2) Un réchauffement climatique de 2° C seulement peut déjà aboutir, par simple dilatation de l'océan global, à une transgression de 20 à 30 cm.
- **3)** Une fonte des glaces continentales aboutit évidemment à une élévation du niveau marin.

Pendant la dernière période interglaciaire (il y a 120 000 ans) plus chaude que la période actuelle, le niveau de l "'océan global " était supérieur de 6 m au niveau actuel. À l'inverse, au maximum de la derrière période glaciaire, il y a 18 000 ans seulement (c'est à peine plus vieux que les peintures de Lascaux - 17 000) la charge des glaces sur les continents était telle que le niveau des mers avait baissé d'environ 120 m. Au maximum de la déglaciation entre - 15 000 et - 12 000, le niveau de la mer s'est élevé de 3 m par siècle : les usagers de la grotte Cosquer à Cassis ont dû s'en rendre compte (l'entrée de cette grotte est aujourd'hui à - 36m).

4) Ces causes sont bien trop mineures ou bien trop instantanées à l'échelle géologique pour être comparées à celles qui ont causé la transgression marine au début du Secondaire. Les cycles Glaciaire-Interglaciaire se sont produits une dizaine de fois au cours du dernier million d'années, chacun aboutissant à une variation du niveau marin de 120 à 150 m dont l'ensemble n'a laissé à peu près aucune trace. S'il est raisonnable de croire que depuis que l'eau existe à la surface de la terre sa quantité (eau liquide + eau solide) n'a pas dû varier beaucoup, le seul moyen de causer une transgression durable est de faire intervenir une variation du volume des bassins océaniques. Une image simple peut en donner une idée : lorsqu'on met de l'eau dans une cuvette en plastique dont on resserre les bords, le volume de la cuvette diminue et l'eau s'élève sur les bords. L'activité tectonique et volcanique de la planète est capable de faire " gonfler " les rides médio-océaniques, ces chaines de montagnes volcaniques sous-marines qui courent au centre des océans et d'où s'épandent continuellement des laves basaltiques qui forment le plancher océanique.

C'est dans une diminution du volume des bassins océaniques qu'il faut rechercher l'origine de grandes transgressions marines à l'échelle géologique.

Pourquoi la série sédimentaire des Causses (à laquelle appartient tout le Valdonnez) qui s'est déposée sous quelques centaines de mètres d'eau, se trouve-t-elle aujourd'hui à une altitude d'environ 1 000 m sans avoir été plissée ?

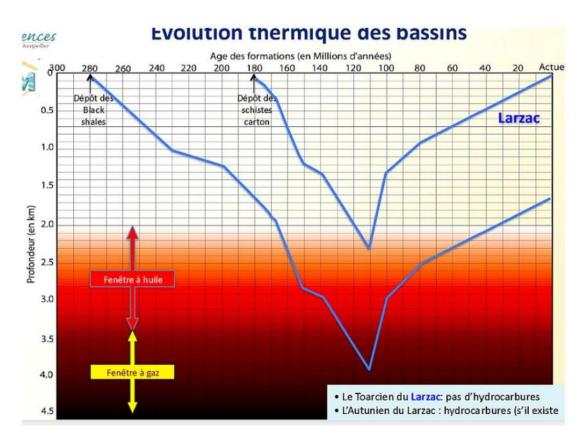
Par suite d'un mouvement vertical de l'écorce terrestre. Mouvement vertical pur (sans compression) qui est encore mal compris et mal calé chronologiquement (tout comme celui qui a donné le Grand Canyon du Colorado).

À quelle époque la mer jurassique s'est-elle retirée, mettant la série sédimentaire des causses "à la disposition de l'érosion" ?

On peut supposer raisonnablement au Crétacé moyen (en même temps que "l'isthme durancien" bien connu des paléogéographes).

Notre beau pays est-il à l'abri d'une exploitation du gaz de schistes ?

Oui, sans aucun doute. Surtout la <u>profondeur</u> des schistes cartons n'est pas assez importante (dans tout le territoire des Causses).



Extrait d'un document réalisé par l'Université Montpellier II Sciences, Département des Sciences de la Terre.