

## Mise en ordre du Temps pour les éléments de la Terre

\*\*\*\*\*

### Trois stratotypes mondiaux dans l'Hérault

par

Michel Gastou membre de la SAGA



Cessenon sur Orb, carrière de marbre de Coumiac.  
Point stratigraphique mondial CSSP

**Michel Gastou**  
Administrateur et membre de la  
Société Amicale des Géologues Amateurs MNHN<sup>(2)</sup> Paris

# Mise en ordre du Temps pour les éléments de la Terre

\*\*\*\*\*

## Approche générale de la stratigraphie et sa mise en œuvre par la biostratigraphie

### Introduction

### Première partie

- Prise de conscience du temps

### Deuxième partie

- Histoire de la stratigraphie discipline scientifique  
- Repères généraux sur la stratigraphie actuelle

### Troisième partie

- Application de la stratigraphie dans l'Hérault

## Introduction

Depuis de nombreuses années j'arpente, étudie et essaye de comprendre la géologie et la géomorphologie de cette belle et difficile région qui est la mienne, partie du Massif central que l'on nomme la Montagne Noire. La lecture du lexique rédigé par le Comité Français de Stratigraphie, concernant les règles de terminologie conseillées aux géologues stratigraphes, m'a fait découvrir l'existence d'un stratotype matérialisant la limite d'un étage de l'ère Primaire situé près de Cessenon-sur-Orb. (Figure 3)

Ce stratotype avait ceci de particulier qu'il n'était pas défini par la position d'un ensemble de strates lithologiques, comme on est habitué à en voir généralement, mais par une méthode *biostratigraphique*.

Comme on peut le penser, je suis allé reconnaître la carrière de marbre de Coumiac<sup>(1)</sup> (Figure 8) où est reconnu ce stratotype. Je l'ai cherché en vain ! Il est situé dans une partie de la carrière non visitable pour le public, parce que ne faisant pas partie du site aménagé.

Le stratotype est fixé par un point précis sur la lithologie, matérialisé physiquement par une fiche métallique enfoncée dans le sol que l'on a appelée symboliquement *Clou d'or*. Très vite j'ai découvert que dans notre région, on avait pu matérialiser deux autres points stratigraphiques de l'ère Primaire dans la Période du Dévonien moyen et Dévonien supérieur. Bien entendu, je suis allé à leur recherche et j'ai pu les visiter.

Ces nouveaux stratotypes sont nommés GSSP (Global Standard Section and Point). Ils matérialisent, ici localement, pour l'ensemble de la planète, trois étapes de son évolution en fonction du temps.

Je propose aux lecteurs des clés de découverte de cette histoire de la Terre à partir d'un travail de géologie que j'ai réalisé à la SAGA<sup>(2)</sup> en 2008.

Toutefois le propos déborde largement l'objet intrinsèque. En effet, il m'est apparu au fil de l'étude et de la rédaction, que la définition d'un point mondial répondait à de nombreux critères qui n'étaient pas visibles au premier abord. J'ai remonté la filière normale pour un acte scientifique de grande portée et suis finalement arrivé, de démonstrations en démonstrations, à la reconnaissance des lois fondamentales de la nature.

L'article est divisé en trois parties :

Première partie - Prise de conscience du temps

Deuxième partie - Histoire de la stratigraphie discipline scientifique

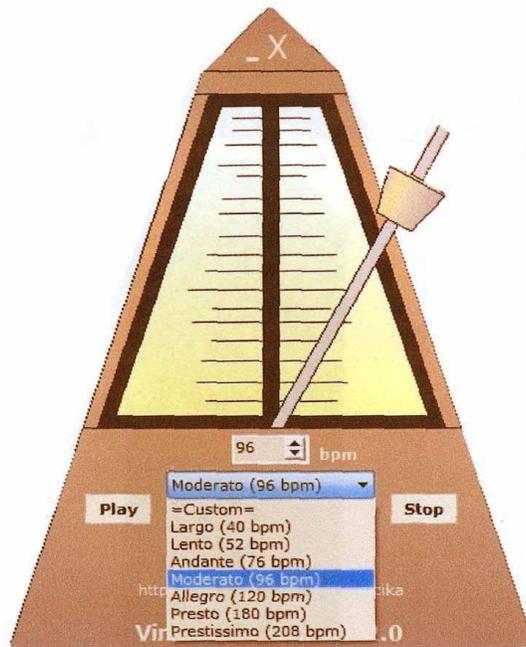
- Repères généraux sur la stratigraphie actuelle

Troisième partie - Application de la stratigraphie dans l'Hérault

Après avoir situé dans l'espace local les trois GSSP : description de la démarche suivie pour leur redéfinition. Ces trois stratotypes étaient en effet déjà définis, depuis plus de 100 ans, dans l'espace mondial. Est également évoquée la situation environnementale de la Terre au Dévonien et la grande crise biologique d'extinctions en masse si bien matérialisée à Coumiac.

## Première Partie

### Prise de conscience du temps



« *Le temps est un paysage qui ne s'arrête pas de passer.* »  
J.-P. Védrières, écrivain, poète languedocien.

« *On peut se demander si le temps est dans la réalité des choses  
ou seulement dans l'homme qui les observe.* »  
Patrick De Wever.

Introduction à l'ouvrage  
« *Le Temps Mesuré par les Sciences* ».

« *Ici, le temps marche à pied.* »  
Joseph Delteil,  
Écrivain et poète languedocien.

## Prise de conscience du temps

Depuis la plus haute antiquité, l'homme, a cherché à comprendre ses origines. Les mythologies antiques de notre monde méditerranéen en témoignent, de l'Égypte à la Grèce. Toutes ont tenté de relier les dieux et les hommes, le ciel et la terre. Il fallait donc, puisqu'il était le seul organisme vivant sur Terre à avoir accédé à la conscience et à la réflexion, que l'homme s'interrogeât sur son origine, sa place dans la nature, ce qu'est la nature puis, bien plus tard, sur la formation de la terre et la place de celle-ci dans l'univers.

L'histoire des civilisations montre aussi leur forte dépendance à la représentation du temps, mais ce temps ne pouvait être considéré que cyclique et sans origine.

Les écoles de Platon et d'Aristote enseignaient, en effet, que le temps n'avait pas de commencement, il était éternel, c'était une constatation dictée par le mouvement indéréglable des planètes et des étoiles fixes. Au centre de cet univers, la Terre s'intégrait dans ce schéma.

Cette notion d'un monde globalement immuable impliquait, selon cet enseignement, qu'il n'avait pas d'histoire et donc de chronologie sous-tendant sa mesure.

Néanmoins la terre évoluait et Aristote voyait en l'action incessante des forces de la nature la marque de très lents changements.

« *Si la mer abandonne certains endroits et en envahit d'autres, nota-t-il dans Les Météorologiques, il est évident que, sur toute l'étendue de la Terre, ce ne sont pas toujours les mêmes endroits qui sont mers ou continents, et que tout change avec le temps* ».....

« *Les rivières naissent et meurent. La mer ne cesse aussi d'abandonner certaines parties, d'en envahir d'autres. La terre ne se présente donc pas invariablement sous le même aspect, ici toujours la mer et là toujours un continent, mais toute chose se modifie dans le cours du temps* »

Il soulignait, en outre, que seule la courte durée de la vie humaine empêchait de voir ces lentes transformations naturelles.

Puis, le cadre intellectuel commença à changer quand, s'appuyant sur l'Ancien Testament, Théophile d'Antioche 115-180 ap. J.-C. décida de créer une chronologie biblique, le christianisme rejeta alors toute conception "cyclique" du temps en faveur d'une notion clairement "linéaire". Ayant eu naturellement la Création pour origine, le temps devait s'écouler jusqu'au Jugement dernier. Dans cet esprit, la chronologie acquit une importance particulière, mais elle se trouva très longtemps enfermée dans un cadre étroit de 5 000 à 7 000 ans dicté par des interprétations littérales du Pentateuque<sup>(3)</sup>. Certaines écoles ont cherché à calculer l'âge de la Création en additionnant les âges des patriarches cités dans la Bible, Il y a eu beaucoup d'essais, mais le plus célèbre reste celui de l'archevêque James Ussher qui, au milieu du XVIIe siècle, déclara que la Création avait eu lieu dans la soirée du 22 octobre de l'an 4004 av J.-C. Cette chronologie chrétienne a été préparée, dit-il, pour combattre les vues païennes selon lesquelles la terre était vieille de millions d'années.

Dans ce cadre chronologique, l'histoire du monde et de la nature se trouvait ainsi indissociable de celle de l'homme qui était contemporain de sa création.

Ces courtes échelles empêchaient toute vision historique de la nature. Nous verrons plus loin, dans cet article, que seul un temps très long (4550 millions d'années) a pu façonner la Terre que nous connaissons, mais il a fallu beaucoup de temps pour s'en convaincre car il fallait disposer d'instruments de mesure et de repères chronologiques sûrs et fiables.

Des le 17<sup>e</sup> siècle, la reconnaissance des fossiles (coquilles le plus souvent, comme objets de la nature autres que de simples roches) et des couches (strates) géologiques, éléments essentiels de la stratigraphie, ouvrirent la voie aux futures conceptions de la géologie et de la mesure du temps. Celui-ci fut d'abord relatif avant de pouvoir être absolu. (2<sup>ème</sup> partie chapitre 1)

Peu à peu l'observation toujours plus attentive des fossiles, l'exploration des montagnes et autres lieux caractéristiques firent craquer ces courtes échelles. Un siècle plus tard Buffon (1707-1788) a tenté de dater le passé de notre globe. Pour cela il suppose que la Terre et les autres planètes étaient originellement des portions de matière incandescente, expulsées du Soleil à la suite du choc d'une comète. Il en déduit que leur histoire était avant tout celle de leur refroidissement : la vie devenait alors possible. À cet effet, il fit mesurer dans ses forges de Montbard les temps de refroidissement de boulets de différentes tailles et matières chauffés au rouge. Dans son ouvrage majeur "Les Epoques de la Nature 1779" qui rassemble sa vision naturaliste de l'histoire générale de la Terre, il publie que 75 000 années avaient été nécessaires pour parvenir à la température de surface actuelle. (Dans ses notes furent en vérité consignées des durées de dix millions d'années) Buffon ajoute :

*"Quoiqu'il soit très vrai que plus nous étendrons le temps et plus nous approcherons de la vérité et de la réalité de l'emploi qu'en a fait la nature, néanmoins il faut le raccourcir autant qu'il est possible pour se conformer à la puissance limitée de notre intelligence ».*

*« Le temps semble fuir et s'étendre à mesure que nous cherchons à le saisir ».*

Ce ne fut donc pas seulement par crainte de la censure de l'Eglise que Buffon a publié des durées beaucoup plus courtes que celles déduites de ses observations, mais simplement pour être compris par ses contemporains. Même les intellectuels qui n'avaient pas de parti pris religieux, mais en étaient imprégnés, avaient la plus grande difficulté à concevoir des périodes de temps s'étendant sur des millions d'années La notion acceptée de temps très longs est finalement assez récente.

En 1859 Charles Darwin publie son œuvre majeure "De l'origine des Espèces" qui fut une véritable révolution pour l'époque. La porte est définitivement ouverte pour extrapoler le temps.

En 1964 deux chercheurs des laboratoires de la Bell-Téléphone, Penzias et Wilson, en découvrant un rayonnement thermique universel fossile furent à l'origine de la datation de l'Univers. En 1956, Clair Paterson utilise la méthode uranium/plomb pour dater une météorite, en supposant qu'elle vient d'une planète formée à peu près en même temps que la Terre. Il estime l'âge de la Terre à 4.550 millions d'années. Cette datation est maintenant consensuelle et fait que la Terre a un début (3<sup>ème</sup> partie).

Cette entrée en matière, volontairement brève et donc non exhaustive, dont le but est de montrer l'évolution de la compréhension du temps, introduit le travail (réécrit en partie pour les lecteurs des cahiers de la Société Archéologique Scientifique et Littéraire de Béziers) que j'ai réalisé dans le cadre d'une Société de Géologues amateurs domiciliée au Muséum National d'Histoire Naturelle à Paris. Ce mémoire est destiné à vulgariser la méthode de qualification de trois sites stratigraphiques remarquables dans l'Hérault.

Qu'est-ce que la stratigraphie ? Les couches géologiques, de la plus ancienne à la plus récente forment une sorte de livre dont les pages (strates) retracent l'histoire de la Terre. La stratigraphie est la branche de la géologie chargée d'étudier ces strates dans leur ensemble de les décrire, en les reconnaissant et en les classant dans l'espace et le temps sur une échelle dite stratigraphique.

La plupart des sites de cette échelle (stratotypes) maintenant dits historiques, parce que définis au 19<sup>ème</sup> siècle, ne correspondent plus aux exigences de repères mondiaux indiscutables tels que préconisés par les méthodes actuelles de la stratigraphie. Il faut donc en rechercher de nouveaux sur la Terre et procéder à des redéfinitions.

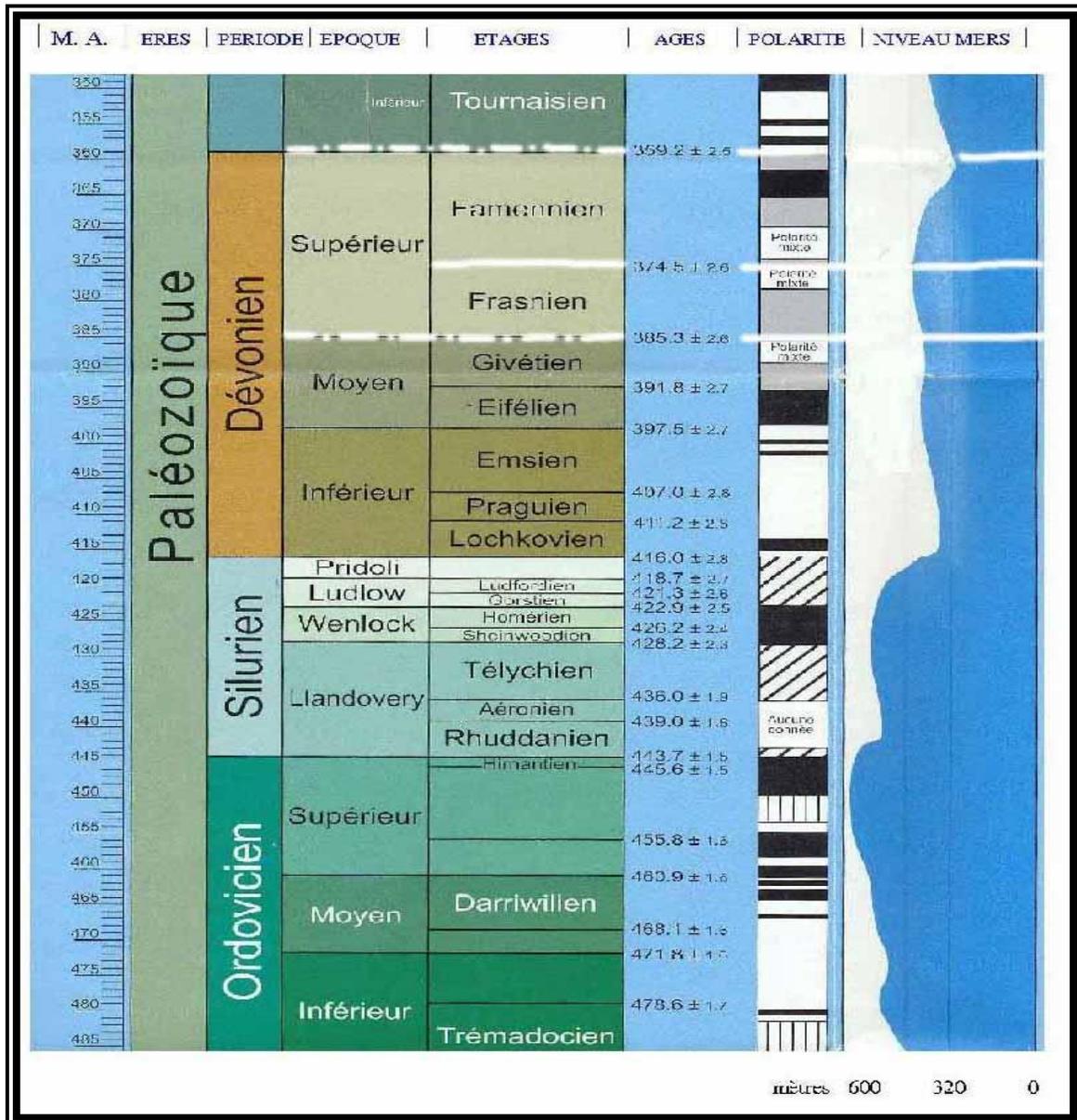
Dans le texte qui suit je vous propose :

- l'histoire de la stratigraphie d'hier à aujourd'hui.
- des repères sur la stratigraphie actuelle,
- d'expliquer les raisons de l'application de la stratigraphie dans l'Hérault (Ces sites sont classés dans l'Ere Primaire aujourd'hui appelée Paléozoïque).

## Deuxième Partie

### I - Histoire de la stratigraphie d'hier à aujourd'hui

### II - Repères généraux sur la stratigraphie



**Figure 1. Charte du Dévonien supérieur**

- Tiretés et tiret blancs : position des 3 GSSP sur un extrait de l'Echelle des temps géologiques,
- Ages dans la chronologie générale et ages respectifs des étages,
- Variations du niveau marin mondial et inversions des polarités magnétiques

## I - Histoire de la stratigraphie.

### a) Chronologie

La chronologie est la mise en ordre du temps selon la succession d'événements choisis, datés ou non. Chaque événement est situé par rapport aux autres sur une échelle. Cette échelle permet de bien les différencier dans l'ordre chronologique des apparitions. La chronologie est donc une description de l'écoulement du temps ; elle est construite en fonction d'une certaine conception du temps-objet, qui peut-être relatif ou absolu. Il en est le support (substrat).

En géologie, le substrat initial est le principe de superposition (stratigraphie\*) qui a permis la construction de l'Échelle des Temps Géologiques. L'origine de cette échelle est fixée par l'ICS (*International Commission on Stratigraphy*) à la date probable de la naissance de la Terre. En 1994, l'âge a été fixé à 4 550 millions d'années.

*\*La stratigraphie, étymologiquement "description des strates", est la discipline scientifique qui étudie l'agencement, dans l'espace et dans le temps, des formations géologiques et des événements qu'elles matérialisent, afin de reconstituer l'histoire de la Terre et son évolution en fonction du temps (Jacques Rey<sup>(4)</sup> 2001 Comité Français de Stratigraphie.)*

### b) Historique

L'échelle s'est construite au fur et à mesure du développement des sciences de la Terre, depuis le XVIII<sup>e</sup> siècle, mais elle a pris une forme de datation précise avec Arthur Holmes, dans les années 1930. Celui-ci publie une première échelle relative en 1937. Il est aujourd'hui reconnu comme le père de l'échelle des temps géologiques ; l'échelle actuelle est donc un héritage historique.

Elle est découpée en 6 grandes divisions hiérarchisées :

-Eons, Ères, Périodes ou Systèmes, Époques ou Sous-systèmes, Étages, Sous-étages -

Les ères sont au nombre de trois : l'ère primaire (aujourd'hui Paléozoïque), l'ère secondaire (Mésozoïque) et l'ère tertiaire (Cénozoïque). Le Quaternaire (l'actuel) est pour le moment inclus dans le Cénozoïque. Chaque ère est à son tour découpée en Périodes, dont six pour le Paléozoïque qui nous occupe ici, soit : le Cambrien, l'Ordovicien, le Silurien, le **Dévonien**, le **Carbonifère** et le Permien.

Arthur Holmes s'est basé sur le principe de superposition et de continuité des couches sédimentaires, l'échelle est donc stratigraphique. Ce raisonnement, connu sous le nom de loi de Stenon (ou Steno), est formulé pour la première fois, en 1669, par Nicolas Stenon (1638-1716), physicien de la cour danoise et médecin de cour du Duc de Médicis de Toscane. Stenon formule que : "*dans une série non déformée de roches sédimentaires, une strate est plus vieille que celles qui la recouvrent et plus récente que celles sur lesquelles elle repose*".

On peut penser aujourd'hui que cet énoncé relève uniquement de l'évidence et ne mérite pas l'appellation de "principe" mais, à l'époque de Stenon, une telle assertion ne tombait pas sous le sens, car on ne connaissait pas les processus de sédimentation marine. Aujourd'hui, nous savons que les sédiments se déposent en couches généralement horizontales sous l'effet de la gravité.

Il n'en demeure pas moins que la définition par le raisonnement, à partir des observations de terrain, de ce premier principe, est probablement, selon moi (après celle de Copernic qui déclencha la fin en la croyance au géocentrisme de la Terre, en 1553),

l'une des plus grandes réalisations intellectuelles, toutes sciences confondues. Elle est le fondement de la géologie.

En 1800, l'Anglais W. Smith expose que les fossiles ont une répartition fixe dans les couches géologiques. Cette individualisation des fossiles, indexée dans les couches, permet plus sûrement de les caractériser et de déterminer leur succession. L'échelle devient plus précise par la création d'une **datation relative**. On peut ainsi définir avec précision des **séries sédimentaires**, les situer et les repérer dans l'espace.

Si cette chronologie, novatrice en son temps, permet de situer les séries les unes par rapport aux autres, elle ne permet pas d'indexer les faits (ici les couches sédimentaires) par rapport au temps réel dans l'espace-temps.

Un peu plus tard, la maîtrise de plus en plus grande de la radiochronologie (issue de la découverte par Henri Becquerel, en 1896, de la radioactivité) a permis de mieux situer les fossiles dans l'échelle des temps géologiques. Cette évolution donne enfin à l'échelle stratigraphique des repères chronologiques absolus. Ce progrès a été fondamental. Les stratotypes sont les repères intermédiaires, les étalons du système.

La stratotypie qui les définit est la science qui étudie la succession de dépôts sédimentaires ; elle est donc la base du système historique de repérage toujours globalement en vigueur. Toutefois ces stratotypes historiques datent pour la plupart du 19<sup>e</sup> siècle et ont été définis avec des visions locales qui ne permettent pas forcément de reconnaître des limites d'étages universelles. Une révision de l'échelle s'est donc imposée.

## II - Repères généraux sur la stratigraphie actuelle,

(Dans l'esprit des recommandations du Comité Français de Stratigraphie)

La stratigraphie actuelle est la discipline de référence pour l'ensemble des sciences géologiques. Elle utilise de multiples techniques pour identifier, analyser et décrire les témoignages (**signaux stratigraphiques**) que les phénomènes naturels laissent dans les terrains.

La suite de l'article, dans le cadre général, définit plus particulièrement les techniques les plus utilisées pour les redéfinitions des stratotypes, objets de cet article, qui sont situés, rappelons le, dans la chronologie du Paléozoïque (ex Ere Primaire). Ce sont :

- la *lithostratigraphie*. Cette technique étudie les dépôts sédimentaires en prenant en considération les caractéristiques lithologiques des roches.
- la *biostratigraphie* analyse les caractéristiques paléontologiques (contenu fossilifère) et plus précisément la succession des espèces dans le temps (biochronologie), pour atteindre l'objectif chronologique de la stratigraphie.
- la *chimiostratigraphie* faisant appel aux caractéristiques géochimiques des sédiments mais, sans rapport avec l'objet, elles ne sont citées ici que pour mémoire.
- la *cyclostratigraphie*. On sait maintenant qu'il se produit cycliquement des variations des paramètres de l'orbite terrestre par rapport au soleil. Ces variations laissent des traces dans les sédiments qui sont reconnues par cette technique.
- la *magnétostratigraphie*. L'étude des roches volcaniques formées au niveau des dorsales océaniques a révélé que les pôles magnétiques se sont inversés de nombreuses fois au

cours du temps. Ces inversions sont identifiées par la *magnétostratigraphie* et sont d'excellents critères de corrélation mondiale.

a) Biostratigraphie (discipline principale utilisée pour les trois GSSP).

Cette discipline, comme déjà précisé, dépend de la lithostratigraphie. Elle utilise les fossiles ou les traces d'activités biologiques contenues dans les couches géologiques. Dans sa conception actuelle elle organise les couches en unités définies par leur contenu en fossiles et classe les unités les unes par rapport aux autres vis-à-vis de l'écoulement du temps. **On les appelle biozones.**

Une *biozone* est identifiable par son contenu et par la place que ce contenu lui assigne dans la succession irréversible de l'évolution du monde animal et végétal.

*"Le biostratigraphe doit donc se contenter de ce que l'évolution de notre planète a bien voulu conserver et soumettre à ses investigations (archives de la nature), et se souvenir que l'enregistrement sédimentaire et biologique est discontinu dans le temps et dans l'espace La biozone classique possède une valeur historique que même les progrès de la connaissance ne peuvent faire totalement disparaître". (J. Thierry<sup>(5)</sup> Comité Français de Stratigraphie).*

**b) les stratotypes de limite** mondiaux "GSSP" "Clous d'Or".

L'intervalle de temps que représente une unité est maintenant fixé **entre la limite inférieure et la limite supérieure** de cette unité (barreaux de l'échelle). C'est cette méthode qui exprime le mieux sa durée. On définit sur le terrain les **stratotypes de limite mondiaux**, exprimé en anglais par la locution : *Global Boundary Stratotype Section and Point, GSSP*, marqué par un "Clou d'Or", fiche métallique (Figure 9) enfoncée dans le sédiment à **la limite inférieure de l'unité chronostratigraphique**. C'est un point très précis par rapport aux anciens stratotypes plus diffus dans l'espace considéré.

Pour satisfaire à ces exigences, une démarche de redéfinition de l'ensemble des barreaux de l'échelle stratigraphique mondiale a été lancée depuis plus de 30 ans. En 2009 au dernier congrès de l'ICS 61 sites redéfinis ont été répertoriés. Il en restait 40 à contrôler.

## Troisième Partie

- Application de la stratigraphie dans l'Hérault



Figure 2. Stratotype GSSP (Clou d'Or) à la Serre (Cabrières)  
Marque la limite entre la Période Dévonien Supérieur (étage Faménnien) banc 88 et la  
Période Carbonifère (étage Tounaisien) banc 89

## Stratotypes GSSP de l'Hérault

- Col de la Suque, La Serre et Coumiac- (Figures 3 et 4)

Dans les années 1880 sont définis en Belgique (3<sup>ème</sup> partie, dernier chapitre) les étages unités de l'échelle couvrant la période de temps, dans l'Ere Primaire, du Dévonien moyen et supérieur. Selon les recommandations actuelles, ces stratotypes n'offraient plus la garantie d'exprimer au mieux la durée des étages de cette période.

Pour y remédier la Sous-commission Stratigraphique sur le Dévonien (S.D.S.) a considéré qu'il fallait rechercher de nouveaux sites mondiaux et décidé, lors d'une réunion à Washington en 1989, d'utiliser la **biostratigraphie** comme méthode pour cette recherche.

La SDS a considéré que le niveau le plus approprié pour la corrélation internationale d'un GSSP devrait être cherché dans une *biozone* où avait vécu un très petit animal (microfossile) aujourd'hui disparu depuis bien longtemps, le **Conodonte**.

Une recherche mondiale sur tous les sites où cet animal a vécu, (dans des mers épicontinentales), a abouti à présenter plusieurs candidatures mondiales et notamment, dans un ordre successif dans le temps, les trois sites de l'Hérault ci-dessus nommés.

Après de longues études et discussions des candidatures (la biostratigraphie est une démarche très minutieuse et très codifiée), ont finalement été retenus (Figure 4)

- Le site situé au col du Puech de la Suque, à 1,1 km au SE de Saint-Nazaire-de-Ladarez, qui fixe sur le plan mondial le GSSP qui sépare les étages *Givétien* et *Frasnien* (Acceptation IUGS 1985).

- Le site situé à La Serre au sud-est de Cabrières près de la ferme de La Roquette, qui fixe sur le plan mondial le GSSP qui sépare le *Dévonien* et le *Carbonifère* (Acceptation IUGS 1990).

- Le site situé au-dessus de la carrière de marbre désaffectée de Coumiac, près de Cessenon-sur-Orb, qui fixe sur le plan mondial le GSSP qui sépare les étages *Frasnien* et *Famennien* (Acceptation IUGS 1993)

D'un point de vue géographique, ces trois sites sont situés dans le piémont de la Montagne Noire, en bordure de la grande plaine biterroise, sur des terrains géologiques du Dévonien (âge entre 385 et 360 millions d'années), sur une ligne légèrement oblique d'environ 25 km (à vol d'oiseau), orientée sud-ouest/nord-est, entre les deux fleuves côtiers Orb et Hérault.

Le lecteur trouvera ci-après, dans l'ordre de la chronologie stratigraphique, la description succincte du contenu des *biozones* identifiées par les biostratigraphes et qui a permis le classement des trois sites. La recherche s'est faite comme indiqué dans le texte à partir du marqueur index : le **Conodonte**, corrélé à d'autres animaux marins fossilisés, les *Goniatites* et les *Trilobites* notamment ainsi que d'autres éléments de la faune et de la flore qui caractérisent au mieux cette période du temps de la Terre. (Figures 10 et 11)

1. col du Puech de la Suque (Figure 7) - Givétien /Frasnien (échelle stratigraphique)

On trouve en ce lieu **cinq associations** reconnaissables de Conodontes dans l'ordre de leur évolution biologique. C'est assez remarquable. Nous avons là un lieu de vie pérennisé sur une longue période 10,8 Millions d'années.

2. carrière de marbre de Coumiac (Figure 8) - Frasnien / Famennien (échelle stratigraphique)

Ce site caractérise, sur le plan mondial, **une des 5 plus grandes extinctions biologiques** d'êtres vivants qu'a connue la Terre depuis le Phanérozoïque\*. C'est l'évènement Kellwasser Limestone décrit plus loin dans le texte (p.20), et visible sur la Figure 8.

*\*Le Phanérozoïque débute il y a 542Ma et se poursuit jusqu'à nos jours. Il caractérise les temps fossilifères, c'est-à-dire l'apparition des premiers petits animaux à coquille qui ont pu être conservés par fossilisation, puis le développement continu de la vie animale.*

3. colline de la Serre (figure page de garde 3<sup>ème</sup> partie) - Dévonien /Carbonifère (échelle stratigraphique)

Bien que ce site ne représente pas l'optimum du modèle défini par la sous-commission du Dévonien, il caractérise néanmoins le site terrestre (au moment de sa qualification) le plus représentatif **d'une lignée d'évolution des Conodontes** allant de *Siphonodella praesulcata* à *Siphonodella sulcata* (affaire de spécialistes mais on peut rajouter, comme je l'explique plus loin dans le texte, que les Conodontes, petits animaux marins, sont très bien étudiés et bien documentés et que cette évolution, qui est mondiale, n'a pu être observée qu'ici dans sa totalité).

### **Notes sur les modèles définis par la Sous-Commission du Dévonien** (non exhaustives)

Chaque projet de GSSP a fait l'objet de définitions particulières complétant les travaux généraux sur la microfaune et la flore primitive. (À l'époque de l'échelle ici traitée, les Phanérogames, plantes à fleurs, n'existaient pas encore, il n'y avait donc pas de pollen d'origine végétale, mais des spores d'algues).

Pour ces modèles, il a été adopté la recommandation suivante : **les coupes de stratotype de limite devraient être recherchées et choisies dans des séquences sédimentaires de faciès<sup>(6)</sup> pélagique<sup>(7)</sup>. La sous-commission a reconnu que, en général, les sections du Dévonien dans ce faciès sont probablement plus complètes que celles du faciès néritique. Le faciès pélagique constitue une meilleure base pour la précision biostratigraphique, nécessaire pour les corrélations à l'échelle internationale ; en particulier, les enregistrements des faunes de Conodontes et de Goniatites sont meilleurs dans ce faciès.**

Les sédiments reconnus aux sites de la Suque et de Coumiac, qui correspondent au faciès défini, sont des sédiments très fins, qualifiés de calcilitite pélagique rouge et rouge-gris. Ils ont donné, après un léger métamorphisme, les marbres très réputés de la Montagne Noire. Ceux de La Serre sont un peu plus complexes, car ils proviennent de portions d'unités tectoniques déplacées (*klippes* mais ils sont conformes au faciès), formées de séquences principalement biodétritiques de calcaire oolitique, dans une matrice pélagique de schistes argileux (*shales*).

Ces sédiments renferment également, indépendamment des spores d'algues, certains petits éléments pouvant être classés comme microfossiles. Tous ne sont pas cités dans les publications spécifiques sur lesquelles j'ai travaillé, à l'exception des marqueurs secondaires cités dans le paragraphe précédent et des taxons marqueurs, les Conodontes. Les Conodontes (Figures 5,6) sont identifiés depuis 1856 : ce ne sont que de petits éléments de squelettes d'organismes restés longtemps d'affiliation incertaine ; leur taille est comprise entre 0,2 et 3 mm, l'organisme n'est matérialisé dans les sédiments que par ses denticules en phosphate de calcium. Ils sont connus, du point de vue stratigraphique, depuis le Paléozoïque basal et disparaissent au début du Mésozoïque, au Trias. Ils ont donc vécu 300 millions d'années et ont traversé trois crises biologiques majeures : Ordovicien, Silurien et **Dévonien**, celle qui nous intéresse ici, à Coumiac.

Jusqu'en 1983, leur classification posait d'énormes problèmes et continue d'en poser quelques-uns, suivant l'interprétation et les auteurs, les seules parties restantes de ces animaux, comme déjà indiqué, étant généralement attribuées à la mâchoire d'Annélides ou assimilés.

En 1983, la redécouverte, dans les collections du musée d'Édimbourg, en Écosse, d'un spécimen à corps mou trouvé en 1925, provenant de Granton, près d'Édimbourg, clarifie pour certains son appartenance phylogénique. On le classe comme Conodonte, ce qui permet de rapprocher ces organismes des ancêtres des Vertébrés, les Chordés.

Les Chordés sont des animaux structurés autour d'une « corde » faisant office de colonne vertébrale primitive. Cette « corde » n'est pas ossifiée comme chez les Vertébrés modernes. C'est probablement pour cette raison que ces animaux sont très rarement entièrement fossilisés. Néanmoins leurs restes permettent de les classer généralement en trois types morphologiques principaux : **Coniformes, Ramiformes et Pectiniformes**

Les Conodontes se rencontrent dans des faciès marins relativement littoraux (sables et grès glauconieux) ou plus profonds (calcaires fins plus ou moins dolomitiques, schistes noirs, phosphorites, cherts) en compagnie de radiolaires, de graptolithes et de fragments de poissons.

Ils sont absents ou rares dans les faciès récifaux et dans ceux renfermant des Fusilinidés, des Crinoïdes, des Brachiopodes et des Algues calcaires.

Leur répartition paléogéographique est vaste et très répandue dans les terrains du Paléozoïque. Ils sont connus en Europe occidentale, autour de la Méditerranée, au Sahara, aux Indes, en Chine, en Australie et en Amérique du Nord. Ils sont aussi connus pour leur évolution rapide, au sens géologique du temps (voir la description faite pour la limite Givétien/Frasnien, au col de la Suque), ce qui fait que les Conodontes sont de bons marqueurs.

Ces très petits animaux sont étudiés par la micropaléontologie, division de la paléontologie étudiant les organismes fossiles de petite taille, d'origine animale ou végétale. La micropaléontologie a connu un grand développement grâce à son utilisation dans l'exploration pétrolière en raison de son intérêt stratigraphique. L'étude des matériaux recueillis au cours des forages a révélé ces petits animaux qui résistent mieux aux carottages destructeurs que les macrofossiles.

On a vu que les Conodontes sont de bons marqueurs stratigraphiques d'autant plus qu'ils ont été très bien étudiés, notamment par des paléontologues allemands (Ziegler, Werner, Briant, Opperl, etc.). On leur doit une importante documentation sans laquelle leur

détermination ne pourrait être menée à bien. Ces paléontologues, spécialistes de la micropaléontologie, ont défini des zones d'apparitions et d'évolutions qui servent de base aux trois GSSP objets de cet article. Ziegler avait préconisé, en 1985, lors d'une réunion de la SDS (*Subcommission on Devonian Stratigraphy*) que les GSSP soient, par voie de conséquences, des marqueurs de zones.

On comprend pourquoi ce petit animal étrange, « qui se cache derrière sa mâchoire inférieure », est, ici, le fossile type du Dévonien pour marquer les différents « barreaux » de l'échelle stratigraphique.

Des zones d'évolution ont été définies dans les trois sites :

- Zone à *asymmetricus*, qui est marquée par la première présence du conodonte *Ancyrodella rotundiloba*, à la Suque ;
- Zone inférieure à *Palmatolepis triangularis*, à Coumiac ;
- Première apparition du conodonte *Siphonodella sulcata* à La Serre.

### Situation environnementale au Dévonien

C'est au Paléozoïque (ex-Ère primaire) que débute le Phanérozoïque<sup>(8)</sup>, l'origine du monde vivant structuré. La Période dévonienne est considérée comme étant l'aube de la vie terrestre mais peut-être, avant d'aborder ce sujet, est-il nécessaire de la replacer dans son cadre paléogéographique.

Après plus d'un siècle de difficultés, liées à l'insuffisance de nos connaissances, la reconstitution des visages successifs de la Terre – objet de la paléogéographie – est aujourd'hui l'une des préoccupations majeures des sciences de la Terre. Pour reconstituer les géographies anciennes dans leur succession au cours de l'histoire de la Terre, nous disposons aujourd'hui non seulement des données de la géologie classique de terrain mais également de la géophysique (tectonique globale), de la sédimentologie, de la géochimie, de la paléontologie, de la paléoclimatologie, des progrès de l'écologie actuelle, etc.

On peut dater le début de la réflexion, qui finalement a conduit aux reconstitutions actuelles, à l'année 1830. À cette époque, Charles Lyell énonce les règles de l'*uniformitarisme*, qui ont souvent permis d'appliquer aux phénomènes anciens les observations faites dans la nature actuelle, mais qui hélas, sous certains aspects, s'opposaient par avance au Darwinisme, synonyme de l'*évolutionnisme*.

Il a fallu attendre les années contemporaines 1967/69 pour qu'enfin la théorie de la *dérive des continents*, chère à Albert Wegener, qui suggère, dès 1915, le déplacement des terres émergées, soit enfin devenue le nouveau paradigme des géologues. C'est à cette époque (1967/69) que Mackenzie, Parker, Vine et Hess introduisent, avec le terme de *tectonique des plaques*, la notion de plaques crustales déplacées par une **dérive continentale**.

La paléogéographie, déjà initiée dès 1952 par Strakhov et, indépendamment par H. et G. Termier, pouvait exister avec des bases solides et ainsi devenir une science... en devenir. Elle sera puissamment aidée, pour les tracés et pour les reconstitutions paléogéographiques, par l'ordinateur.

Lorsque l'on observe les cartes paléogéographiques, qui ne sont pas reproduites dans cet article, publiées par Christopher R. Scotese<sup>(9)</sup> du Protérozoïque finissant jusqu'au Carbonifère, on voit que les plaques lithosphériques (terres émergées) se disloquent, puis,

à la fin du Silurien, se regroupent à nouveau par subduction des océans antiques Iapetus et Rhéique pour former la « Pré-Pangée ».

*« Il y a 650 Ma, commence le démantèlement du supercontinent Rodinia qui s'était formé il y a 1 100 millions d'années. Puis, au Cambrien supérieur, les continents sont inondés par des mers peu profondes (épicontinentales.) Le super-continent Gondwana vient de se former au sud près du pôle antarctique. »*

*« À l'Ordovicien moyen (- 458 Ma), les océans antiques ont séparé les continents stériles de la Laurentia, la Baltica, la Sibérie et le Gondwana. À la fin de l'Ordovicien, régnait un des temps les plus froids de l'histoire de la Terre. La glace recouvrait beaucoup de régions du sud du Gondwana. »*

*« Au Silurien moyen (- 425 Ma), la Laurentia entre en collision avec Baltica par la fermeture de la branche nord de l'océan Iapetus et commence la formation du continent "des Vieux Grès Rouges". Les récifs de coraux s'étendent et les plantes terrestres commencent à coloniser les continents stériles. »*

*« Au Dévonien inférieur (- 390 Ma), les premiers océans paléozoïques se ferment, formant la Pré-Pangée. Les poissons d'eau douce sont capables de migrer des continents de l'hémisphère sud vers l'Amérique du Nord et l'Europe. Les forêts ont grandi pour la première fois dans les régions équatoriales du Canada arctique. »*

Il faut rajouter aux légendes de Scotese<sup>(9)</sup> que, durant le Dévonien moyen et supérieur, les grandes lignes de la paléogéographie mondiale ont finalement peu évolué, **mais qu'un changement de faune marine intervient à l'échelle mondiale vers la limite Frasnien/Famennien lié à des extinctions en masse (observable à Coumiac).**

*« Au Carbonifère inférieur (- 356 Ma), les océans du Paléozoïque entre l'Euramerica et le Gondwana ont commencé à se fermer, formant les montagnes de l'Appalachien et la chaîne varisque. La calotte de glace s'est développée au pôle antarctique, des vertébrés à quatre pattes se sont développés dans les marais de charbon, près de l'équateur. »*

Pendant cette longue période, du moins depuis le Cambrien jusqu'au Dévonien finissant (Famennien), le niveau de l'océan mondial a varié de + 120 m au Cambrien à + 320 m au Famennien, avec un pic majeur à 600 m à l'Ordovicien supérieur (voir charte du Dévonien Figure 1). Ces valeurs sont prises par rapport au niveau actuel (base : 0 m). **Ces variations du niveau marin se traduisent par des développements et des régressions des mers épicontinentales.** La Pangée se disloquera à son tour, à partir du milieu du Jurassique, il y a 175 Ma, pour donner la répartition actuelle des plaques émergées du planisphère.

Dès le début du Silurien, les environnements marins peu profonds sont le siège d'une rapide augmentation de la diversité des espèces après la grande crise biologique de la fin de l'Ordovicien. Les Coraux, les Mollusques, les Brachiopodes pullulent sur les plates-formes carbonatées. Les Vertébrés sont, comme à l'Ordovicien, essentiellement représentés par des poissons cuirassés et sans mâchoires mais on voit aussi se diversifier les premiers poissons à mâchoires, tels les Placodermes et les Acanthodiens, dont les premiers indices apparaissent à l'extrême fin de l'Ordovicien.

Sur les continents, où déjà les lichens mais aussi les premières mousses et hépatiques (embryophytes) se développent, apparaissent des plantes qui, dès le Silurien moyen possèdent des cellules (stomates) permettant la respiration aérienne et même des plantes plus évoluées, vascularisées (xylème), permettant le transport de l'eau et des nutriments au sein des organes aériens. Le monde végétal se développe rapidement. Au début, la végétation était cantonnée aux zones humides, près des fleuves et des lagunes, et

constituée de plantes terrestres très simples. Rapidement apparaissent d'autres groupes comme les lycophytes, les prêles, les fougères et, au Dévonien supérieur, des "fougères à graines". À la fin du Dévonien, certaines de ces plantes atteignent une dizaine de mètres de hauteur. Ce développement de la végétation terrestre a eu une influence considérable sur l'évolution du taux de gaz carbonique et d'oxygène de l'atmosphère terrestre. Il a également eu des conséquences sur le dépôt des sédiments terrigènes : **ces plantes dégradait les roches, augmentant l'épaisseur des sols, mais retenaient également les sédiments terrigènes et produisaient des sédiments organiques.**

Le Dévonien est donc une époque riche qualifiée "d'aube de la vie terrestre" puisqu'elle voit apparaître la latéralisation des rameaux, les feuilles, les racines, l'arborescence par le bois et le liber, les premières forêts, l'hétérosporie et l'ovule. Autant d'événements majeurs sur moins de cinquante millions d'années. Tous les grands groupes de plantes terrestres ayant des représentants actuels sont présents à la fin du Dévonien : les mousses, les lycophytes, les sphénopsides, les filicopsides et les spermatophytes, mais il y a néanmoins de grands absents : les angiospermes et la fleur. Cependant, la conquête du monde terrestre par les plantes a donc bien commencé.

C'est à la fin du Silurien qu'un nombre important de petits arthropodes terrestres ont suivi de près la conquête des continents par les plantes. Ils peuplent les mousses, véritable tapis végétal.

Tous développent, à des degrés divers, des structures permettant la respiration directe de l'air. Leurs pelotes fécales montrent que certains se nourrissaient déjà des spores, dépourvues de toxines, des premières plantes terrestres. **Par leur activité, ces petits Arthropodes participèrent au recyclage de la matière organique et donc à la formation des premiers sols.**

On comprend mieux ainsi comment ces terres primitives *stériles* se transforment progressivement en sols, au sens pédologique du terme, dès que des conditions écologiques pérennes permettent l'établissement d'une biomasse animale et végétale.

## La grande crise du Dévonien supérieur

### Extinction en masse.

À cette époque, les traces d'une importante crise biologique sont visibles dans le milieu marin. Une grande partie des Invertébrés marins disparaît et les couches géologiques montrent des épisodes d'événements marqués par l'appauvrissement des fonds en oxygène (milieu anoxique). Les causes de cet événement vont maintenant être examinées car cette grande crise biologique du Frasnien /Famennien, est mise en évidence ici à Coumiac (Figure 8).

Dans la conception néo-darwinienne, les disparitions d'espèces font partie du cours naturel de l'évolution. Les espèces s'éteignent, victimes de la concurrence d'autres espèces ou parce qu'elles ne peuvent s'adapter à des changements trop profonds ou trop brusques de leur environnement. Des extinctions se produisent donc constamment, provoquant un "bruit de fond" auquel viennent s'ajouter, à intervalles apparemment irréguliers, les grandes crises biologiques que l'on qualifie **d'extinctions en masse.**

## Comment définit-on ce type d'extinction ?

Il faut que l'événement soit observé à l'échelle mondiale ; une vague d'extinctions qui ne frappe qu'un continent ne constitue pas une extinction en masse.

Les victimes peuvent appartenir à des groupes variés vivant dans des écosystèmes très divers ; en exemple, disparurent simultanément, il y a 65 millions d'années, les Dinosaures, Vertébrés terrestres, et les Ammonites, Invertébrés marins.

Il faut que l'extinction en masse se produise dans un laps de temps bref à l'échelle géologique !

Ces critères n'offrent peut-être pas le maximum de rigueur mais ils permettent cependant de séparer les grands événements, qualifiés de catastrophiques, parce qu'ils ont réellement influencé l'histoire de la biosphère, des crises plus locales ou moins sévères dont les effets furent beaucoup plus limités.

## Esquisse de la crise

**L'extinction en masse concerne 21 % des familles, 50 % des genres et environ 75 % des espèces.** Elle semble due autant à des arrêts de spéciation qu'à des disparitions d'espèces imputables à l'événement Kelwasser. Il faut noter que l'on observe une baisse de la taille des espèces de Conodontes survivantes (F. Lethiers, 1998).

Le tableau ci-joint (Figures 10 et 11) montre l'ensemble des changements qui se sont produits pour les Conodontes, les Goniatites et les Trilobites pendant la période considérée et qui ont été observés lors des travaux de biostratigraphie. (Ce tableau n'est pas exhaustif des biodisparitions).

On observe que deux espèces de Conodontes disparaissent à la limite supérieure du banc 31g, sommet du Frasnien, que deux espèces disparaissent à la base de ce banc (31g), soit quatre espèces de Conodontes, plus deux espèces de Goniatites dans des conditions semblables et trois espèces de Trilobites dans des conditions assez proches.

Le tableau montre en outre que deux espèces de Conodontes (*Palmatolepis triangularis* et *Polygnathus brevilaminus*) et une espèce de Goniatite (*Phoenixites frechi*) ont pu franchir cette crise et sont présents à la base du banc 32a, GSSP. Ils sont donc les marqueurs qui fixent la base du Famennien. Un Trilobite, *Nephranops dillanus*, apparaît un peu plus tard au sommet du banc 32b.

Le graphique n'indique pas le temps de sédimentation des bancs, ce qui pourrait donner une idée de la durée réelle de la crise, mais ce n'est pas le but de la stratigraphie (voir les définitions) assignées à cette discipline.

La désignation du site de Coumiac comme marqueur mondial est un exemple de la puissance de la biostratigraphie dans ce domaine puisque l'ICS, en ratifiant les travaux de la sous-commission du Dévonien supérieur, a reconnu que la limite proposée représente le meilleur horizon mondial corrélé dans le Dévonien avec plus de trente coupes internationales. Ces corrélations ont été effectuées avec des sites représentatifs : en Amérique du nord, en Europe, en Afrique du Nord, en Chine et en Australie.

L'extinction en masse de la limite Frasnien/Famennien a eu des conséquences non négligeables sur le développement du monde vivant. En éliminant bon nombre de types de Poissons « archaïques », non évoqués ici, elle a sûrement favorisé l'expansion des formes de type moderne. Pour tenter d'expliquer cette crise majeure, il est autant fait état d'événements endogènes, arrêts de spéciation, que des événements exogènes, l'Événement Kelwasser notamment.

## Spéciation

En biologie, cette appellation désigne le processus évolutif par lequel de nouvelles espèces vivantes apparaissent.

Les espèces issues de l'individualisation prennent le statut de nouvelles espèces biologiques parce qu'elles ne sont pas inter-fécondes. La *spéciation* résulte de la sélection naturelle et/ou de la dérive génétique, qui sont les deux moteurs de l'évolution.

## L'Événement Kellwasser Limestone

Cet Événement est reconnu en de nombreux endroits du globe, mais il a été identifié dans le Harz, en Allemagne. Il est souligné par l'existence de deux intervalles (le K. supérieur et le K. inférieur) riches en matière organique et caractérisés par des niveaux noirs de calcaires bitumineux et de schistes bitumineux (*black shales*). Cet état dénote un appauvrissement de l'océan en oxygène libre, responsable de l'**anoxie** qui s'est généralisée dans les mers puis sur le plateau continental, en atteignant d'abord les bassins, puis les hauts fonds. Le phénomène s'accompagne dans les bassins océaniques profonds, comme dans les domaines plus littoraux, d'une intensification des flux détritiques (vases) (dalle de Coumiac Figure 8).

Pour un être vivant, l'anoxie est le phénomène de raréfaction d'oxygène dans l'organisme. À la pression atmosphérique, la pression partielle d'oxygène pour un être humain est de 0,2 bar. On considère qu'il y a anoxie, pouvant entraîner la mort, quand la pression partielle d'oxygène est inférieure à 0,12 bar.

Cet état des mers serait l'élément le plus responsable de cette crise majeure.

À cette époque, le climat global est chaud. La cause de l'anoxie généralisée dans les mers est probablement à rechercher dans la modification profonde de la **courantologie océanique**, qui serait due à la fermeture **épisodique** de l'ouest de la paléo-Téthys, stoppant ainsi l'équilibre thermique antérieur des eaux océaniques. Les fonds chauds et stagnants n'ont plus été suffisamment oxygénés pour détruire la matière organique, parfaitement visible sur la dalle conservée à Coumiac (Figure 8) provoquant l'extinction de nombreuses espèces d'Invertébrés vivant dans ces fonds.

## Unification des concepts et des objets

### Nécessité de règles à l'échelle globale mondiale

L'histoire des *GSSP* que je viens de relater a aussi sa préhistoire. Elle est contée par Klapper, biostratigraphe du Dévonien, dans la publication CFS 225, de décembre 2000, mentionnée plus haut. **Elle montre la difficulté que le monde, pré-scientifique par rapport à aujourd'hui, avait à trouver une unité d'action et de décision par consensus,**

## avant les grands bouleversements de la pensée scientifique de la seconde moitié du XX<sup>e</sup> siècle.

Ce tournant a été fondamental parce qu'il a donné à la science une unité de raisonnement à travers deux cadres généraux d'où vont découler toutes les nouvelles avancées. Ces cadres ont permis de structurer les anciennes lois du XIX<sup>e</sup> siècle et du début du XX<sup>e</sup>.

En effet, lorsque l'on s'intéresse de ce point de vue au fonctionnement de la Terre et de ses objets, on découvre, en considérant sa cohérence, que sa connaissance profonde ne commence réellement que dans les années 1960.

Que de questions sans vraies réponses, du moins sur le fond, étaient posées !

On distinguait autrefois trois états de la matière : solide, liquide, gazeux, mais y avait-il une liaison entre eux ? Certains corps conduisaient l'électricité, d'autres non. Pourquoi ? Le fer s'aimantait, pas le cuivre ? Des corps sont transparents, d'autres non. On pourrait continuer la liste. Les mystères se multipliaient sans s'éclaircir à mesure que les connaissances s'accumulaient.

On sait maintenant que l'auto-organisation de la matière est globalement déterministe, dans une certaine mesure, parce qu'on sait désormais que la nature obéit à des lois ou, formulé autrement, qu'elle en est imprégnée.

C'est en 1964, lors de la découverte fortuite, par Penzias et Wilson (des laboratoires de la Bell-Téléphone), d'un rayonnement partout semblable à lui-même dans l'univers, que l'histoire de ces lois débute. Ne comprenant rien à ce signal, nos deux chercheurs se tournent vers les astrophysiciens de Princeton (USA). Ceux-ci l'identifient comme un rayonnement thermique universel fossile, fossile parce qu'il est émis par l'univers chaud à une période très reculée. Ce rayonnement, d'une température de 2,73°K (le degré Kelvin vaut - 273 degrés Celsius), dont l'existence avait été suggérée par Georges Gamow, est considéré comme la manifestation la plus ancienne du cosmos. Il marquerait donc son origine puisque l'on ne peut remonter en amont, l'univers trop chaud étant trop opaque pour rayonner.

S'en est suivi l'hypothèse du **Big-bang** qui remonterait, selon le modèle, à 15 milliards d'années. (Le rayonnement aurait 13,7 milliards d'années, la différence correspondant au temps nécessaire au refroidissement du cosmos à 3 000 °K, après le **Big-bang**).

On sait maintenant que l'univers a une histoire et qu'il est en expansion. Il entre à son tour dans le cadre des lois que la science avait découvertes, notamment **que les deux premiers atomes, l'hydrogène et l'hélium, se sont formés pendant cette période nébuleuse. La matière a aussi une histoire.**

On sait aussi aujourd'hui que l'ensemble des atomes de la série périodique et leurs isotopes découlent de ces premiers noyaux. C'est fondamental pour la compréhension de toute la matière.

La réflexion et la mise en forme, par Einstein, des lois de la relativité restreinte, en 1916, et générale, un peu plus tard, unifient l'espace et le temps. Depuis le congrès Solvay tenu en Belgique, en 1927, la mécanique quantique est devenue la théorie cadre des phénomènes non relativistes se produisant à l'échelle microscopique, donc de l'atome. Cette théorie unifie ainsi la physique et la chimie. Les atomes s'assemblent en molécules puis, à partir de la molécule, la matière se divise en matière inorganique (roches et minéraux) et en matière organique par la cellule, base du monde vivant étudié par la biologie.

On sait aussi que la vitesse de la lumière est finie ; elle est de 300 000 km/s.

Les couples temps-espace et énergie-matière constituent donc **les seuls composants de l'univers**. On peut donc considérer que ces découvertes et les théories cadres résument l'unité de la nature **parce que deux lois suffisent à les fonder toutes :**

- la loi relativiste (l'espace-temps) qui gouverne aussi la gravitation ;
- la loi mécanique quantique qui formule tous les principes fondamentaux de la matière (hormis les principes relativistes).

Ces deux lois cadres sont la base de l'évolution de la matière par les interactions et les réactions qui sont le socle de tous les niveaux de son organisation. Les interactions sont seulement de quatre types, que les physiciens désignent par **les quatre forces fondamentales de la physique qui sont :**

- l'interaction gravitationnelle, déjà mentionnée ;
- l'interaction électromagnétique, bien connue ;
- l'interaction faible ;
- l'interaction forte.

Ces deux dernières forces sont fondamentales, mais peu familières aux non-physiciens nucléaires, puisqu'elles n'agissent qu'à l'intérieur du noyau de l'atome. Ce sont elles qui lient entre eux les différents constituants des éléments du noyau.

Ce n'est pas le lieu ici de détailler toutes ces avancées conceptuelles et vérifiées, et leurs traductions physiques en corollaires.

J'ai seulement voulu, par ce long propos, même si les lois relativistes et quantiques sont bien éloignées de nos préoccupations (elles sont le paradis de la tribu des mathématiciens), aider à comprendre pourquoi il était difficile de positionner, pour les cas évoqués, des bornes stratigraphiques universelles non contestables, en l'absence de lois générales et de règles qui finalement en découlent. C'est la cohérence de la pensée scientifique qui est en filigrane. L'exemple que je vais rapporter ci-après en témoigne.

La science fonctionne bien malgré toutes ses imperfections qui sont dues au fait qu'elle est humaine. **N'étant pas un dogme**, elle doit répondre à des lois dont les référentiels, à un moment donné, sont les plus sûrs possibles, mais qui peuvent être contestés objectivement.

## **Préhistoire du classement du Dévonien supérieur**

(Extrait de l'article de Michael R. House)

Cette relation ne prétend pas faire l'historique de l'échelle dévonienne mais seulement, à partir d'un fait, **"fixer la limite, inférieure, du Dévonien supérieur"**, montrer la difficulté d'obtenir un consensus international en l'absence de règles, méthodes, procédures précises et autorités internationales dans le domaine de la stratigraphie pour fixer les séries (époques) et les étages géologiques.

Lors d'une réunion à Buffalo, en 1875, pour célébrer le centenaire de l'indépendance américaine, un comité présidé par James de Hall a été mis en place pour organiser la première réunion d'un congrès géologique international (IGC).

La réunion inaugurale s'est tenue à Paris, en 1879, sous le nom de Congrès des Géologues, maintenant IGC (*International Geological Congress*) (Clarke, 1923). La nécessité d'établir des règles applicables partout, pour organiser l'échelle des temps géologiques, se faisait nettement sentir. Le sujet principal souhaité par de nombreux congressistes était la définition de la matière essentielle de la stratigraphie. Les discussions ont plus porté sur la terminologie que sur la recherche d'un accord fixant les niveaux stratigraphiques.

Au congrès suivant, tenu à Bologne, en 1880, un consensus a enfin permis de diviser le système Dévonien (aussi dénommé période) en trois séries : D. inférieur, D. moyen et D. supérieur (*Lower, Middle and Upper*).

En 1879, le terme Frasnien (Dévonien supérieur) avait été utilisé pour la première fois par Gosselet, comme un terme local pour définir la base du calcaire de Ferrière (Errera *et al.*, 1972). En 1880, ce terme est de nouveau utilisé pour définir la base des "calcaires et schistes de Frasnies".

Pendant la période 1884-1890, la discussion internationale porte sur la définition de la frontière du Dévonien supérieur, qui est aujourd'hui fixée à la base du Frasnien. Gosselet semble avoir alors dessiné la base du Frasnien près de la base de l'assise de Fromelennes (schistes à *Cyrtospirifer verneuili*, *Myophora transrhenana* et *Lyriopecten gilsoni*, puis des calcaires à stromatopores).

La confusion règne par manque de règles claires.

Peu d'avancées au congrès de Berlin en 1886 sur la clarification du terme de stratigraphie (Hancock, 1977).

La définition internationale des frontières du Dévonien est à nouveau à l'ordre du jour du Congrès de Londres, en 1888. Un groupe réputé de paléontologues du Dévonien se réunit (Barrois, Beyrich, Frech, Gosselet, Kayser, Loewinson Lessing Newberry, Seward, Whidborne HS. Williams, et W.A.E. Ussher effectuent des sorties de terrain dans le Devon (d'où vient l'appellation du Dévonien) et en Cornouailles (House, 1982). Il en résulte un consensus sur la définition des frontières en recommandant l'utilisation de fossiles.

Frech, en 1887, avait défini par écrit, puis préconisé dans une réunion préliminaire à un Congrès, d'utiliser la Zone de la goniatite *lunulicosta* pour définir la base du Dévonien supérieur. Début de recherche de biozone ?

Cette recommandation n'a pas toujours été suivie (Gosselet, comme mentionné plus haut, fixait la base du Frasnien près de la base de l'assise de Fromelennes), mais elle a suscité de l'intérêt et d'autres propositions ont été formulées :

- aux États-Unis, proposition de fixer la base dans la formation de Tully (État de New York) ;

- en Allemagne, il a été proposé de fixer la base du Dévonien supérieur à la base de la goniatite *lunulicosta*, dans la formation de la base de l'Adorf Stufe.

Dans les années 1910, pour aller vers une plus grande clarté, le *Lexique stratigraphique international* est lancé, lexique dans lequel chaque pays est invité à fournir des définitions **formelles** des termes stratigraphiques utilisés dans ce pays.

Finalement, le terme de Frasnien, défini au Congrès International en 1952 par le comité belge responsable (Conseil Géologique de Belgique), a été confirmé au niveau représenté par la base de l'assise de Fromelennes. Cette définition a été permanente jusqu'en 1960, mais il faut remarquer que, durant la période 1880-1972, 60 % seulement des auteurs de publications ont utilisé la base de l'assise de Fromelennes comme référentiel et 34 % la base de l'assise de Frasnies primitivement définie, comme mentionné plus haut.

Cet exemple montre à l'évidence qu'en l'absence de règles et d'autorité pour les faire appliquer toute décision non labellisée peut-être confuse.

En 1973, est créée la Sous-commission sur le système Dévonien dans laquelle de vives discussions ont continué.

Aucune de ces deux bases n'étant satisfaisante, les faciès du Frasnien variant considérablement d'ouest en est et du sud au nord, et rendant les corrélations stratigraphiques difficiles, des recherches mondiales de biozones (nouveau paradigme) basées sur les distributions des Conodontes ont été entreprises et, en 1985, l'IUGS pointait par un GSSP (« Clou d'or ») la base du Dévonien supérieur (Frasnien) au col de la Suque, dans la Montagne Noire (Hérault, France).

Cette base stratigraphique (base de la Zone à *asymmetricus* définie par l'apparition du Conodonte *Ancyrodella rotundiloba*, répandu dans le monde entier [Bultynck, 1982] dans les séquences du Dévonien supérieur) assigne à ce GSSP toute sa légitimité mondiale.

## Conclusion

Il me faut maintenant conclure ce travail qui a duré plusieurs années et qui m'a permis de revoir et approfondir la plupart des sujets que j'ai abordés plus ou moins longuement ici, car mon propos déborde largement l'objet intrinsèque. Il m'est apparu en effet que la définition d'un point stratigraphique mondial répondait à de nombreux critères qui ne sont pas visibles au premier abord.

J'ai "revisité" et approfondi les règles actuelles de la stratigraphie et découvert la puissance de la biostratigraphie. J'ai côtoyé de plus près des scientifiques, dans leur travail et dans leurs publications, ainsi que la littérature scientifique spécialisée. J'ai pu ainsi mieux comprendre comment doit fonctionner la science pour être à la fois crédible et efficace.

J'ai aussi pu comprendre et admirer, pour l'ensemble du cas traité, la pugnacité d'un chercheur, le Docteur Raimund Feist <sup>(10)</sup> de l'université de Montpellier II, et des équipes internationales qui ont travaillé avec lui. Ils ont su identifier, étudier, reconnaître, puis convaincre les instances internationales (ce qui est au moins aussi difficile) que ces trois points, situés dans un petit périmètre (25 Km), sont les meilleurs candidats stratigraphiques reconnus sur la Terre. Il leur a fallu pour tout cela plus de dix années de travail.

### - Remerciements :

- à Paulette, mon épouse, pour m'avoir *supporté* pendant deux années, pour ses relectures, corrections de style, orthographiques, grammaticales et autres ;
- à Annie Cornée, notre collègue ingénieur géologue au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris (MNHN), pour son aide documentaire, ses précieux conseils, ses relectures scientifiques et autres ;
- à Raimund Feist <sup>(10)</sup>, pour avoir accepté de relire mes textes et pour les commentaires qu'il a bien voulu faire et ses encouragements.
- à mon collègue Philippe Berger-Sabatel, pour ses relectures, son aide typographique et l'intérêt éditorial qu'il porte à mon travail ;
- au professeur Patrick De Wever du (MNHN) Muséum national d'Histoire naturelle, pour ses encouragements ;
- au professeur de géologie Daniel OBERT. *Le prix Paul Grenier est venu récompenser ce travail de bénédictin auquel je rends hommage et dont je félicite l'auteur. Avec toute mon amitié Daniel-OBERT.*
- au Directeur de Recherche au CNRS sur la Paléobiodiversité et les paléoenvironnements

(CR2P) Philippe Janvier du MNHN pour la lecture de mon mémoire et ses encouragements

- au Président et au Comité Scientifique de la SAGA pour m'avoir attribué le prix Paul Grenier 2008, objet de ce travail.
- à Louis Anglade, historien du marbre et dernier carrier de Coumiac, pour sa gentillesse à mon égard et ses précieux conseils sur la carrière pendant mon travail.

## NOTES

- (1) Coumiac voir carte de situation (Figure 3),
- (2) La SAGA (Société Amicale des Géologues Amateurs) MNHN (Muséum National d'Histoire Naturelle 43 rue Buffon 75005 Paris).
- (3) Pentateuque, ensemble des cinq premiers livres de la Bible (Genèse, Exode, Lévitique, Nombres, Deutéronome).
- (4) Jacques Rey- Stratigraphie, terminologie française. Bull. Centres Rech. Expl.-Prod. Elf Aquitaine, Mém. 19, 164 pages (éd.1997).
- (5) Jacques Thierry est l'auteur, dans le lexique, du chapitre sur la biostratigraphie.
- (6) Faciès : signifie aspect. Somme des caractères lithologiques et biologiques d'un dépôt sédimentaire (exemple : faciès gréseux, calcaire, récifal, marin, pélagique, etc.).
- (7) Pélagique : se dit d'un animal ou végétal marin qui ne vit pas sur le fond mais qui nage ou flotte.
- (8) Le Phanérozoïque débute il y a 542Ma et se poursuit jusqu'à nos jours. Il caractérise les temps fossilifères, c'est-à-dire l'apparition des premiers petits animaux à coquille qui ont pu être conservés par fossilisation, puis le développement continu de la vie animale.
- (9) Christopher R. Scotese est professeur de géologie à Arlington (Texas).
- (10) Raimund Feist, paléontologue biostratigraphe de l'USTL Montpellier, membre nominal du Comité International de Stratigraphie, est l'artisan principal des trois redéfinitions de ces stratotypes. Avec lui, et en compagnie de deux collègues du Muséum National d'Histoire Naturelle, j'ai pu visiter les trois sites GSSP

## Bibliographie

- De Wever P. (ed.) (2001) - Le Temps mesuré par les Sciences. Ed. Vuibert, 130 pages.
- Diu B. (2008) - Traité de Physique à l'usage des profanes. Ed. Odile Jacob, 672 pages.
- Reisse J. (2006) - La longue histoire de la matière. Ed. Presses universitaires de France, 316 pages
- Dubuisson J. Y., Racheboeuf P. et Janvier P. Du Silurien au Dévonien : les sorties des eaux. Sur site Internet du CNRS, dossier « Evolution, de l'origine de la vie aux origines de l'Homme ». <http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosevol/> (consultation mars 2009).
- Gargaud M., Despois D. et Parisot J.P. (ed.) (2001) - L'Environnement de la Terre Primitive. Ed. Presses universitaires de Bordeaux, 578 pages.
- Gastou M. SAGA 2008. Mise en ordre du Temps pour les éléments de la Terre. (Prix Paul Grenier 2008). [michel.gastou@wanadoo.fr](mailto:michel.gastou@wanadoo.fr)
- Jaeger J.-J. (1996) - Les Mondes Fossiles. Ed. Odile Jacob, 275 pages.
- House M.R., Feist R. et Korn D. (2000) - The Middle/Upper Devonian boundary GSSP at Puech de la Suque, Southern France. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 225, p. 49-58.
- Klapper G. (2000) - Species of Spathognathodontidae (Conodonts) in the recognition of the Upper Devonian stage Boundaries. Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg, 220, p. 153-159.

Klapper G., Feist R. et House M.R. (1987) – Decision on the Boundary stratotype for the Middle/Upper Devonian Series Boundary. *Episodes* 10, 2 p. 97-101.

Klapper G. Feist R. Becker T.T. et House M.R. (1993) – Definition of the Frasnian/Famennian Stage. *Episodes*, 16, 4, p. 433-441.

Lethiers F. (1998) - Évolution de la biosphère et événements géologiques. Éditions scientifiques Gordon and Breach, coll. Géosciences, 336 pages

Omnès R. (2008) - La révélation des lois de la nature. Ed. Odile Jacob, 231 pages.

Paproth E., Feist R. et Flajs G. (1991) – Decision on the Devonian-Carboniferous boundary stratotype. *Episodes*, 14, 4, p. 331-336.

REY J. (ed.) (1997) – Stratigraphie, terminologie française. Bull. Centres Rech. Expl.-Prod. Elf Aquitaine, Mém. 19, 164 pages.

**Voir aussi**

<http://stratigraphy.science.purdue.edu/gssp/>

<http://www.scotese.com>



Figure 3. Carte topographique des trois sites GSSP

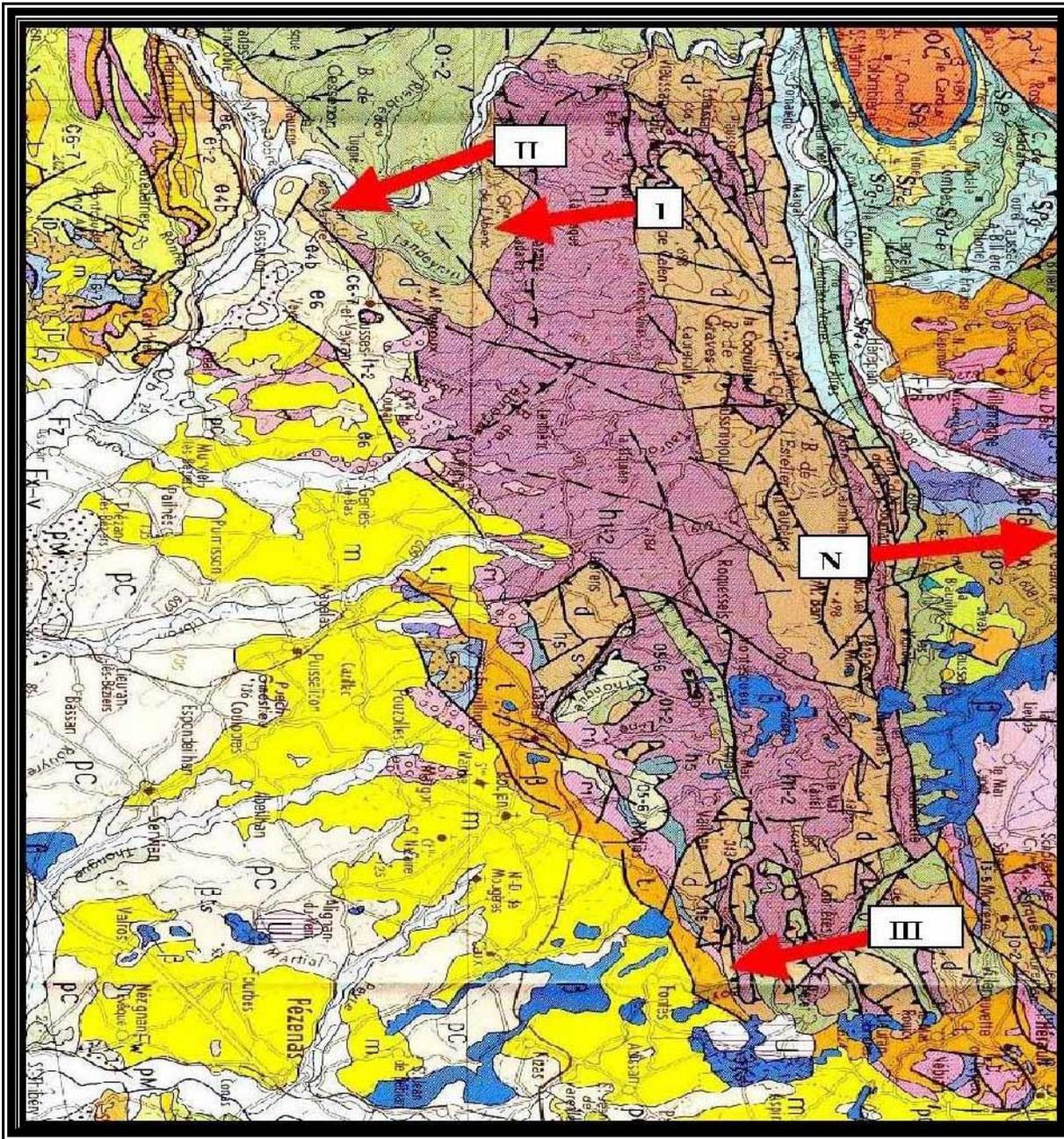


Figure 4. Carte géologique du sud de la Montagne Noire  
Implantation des trois sites GSSP

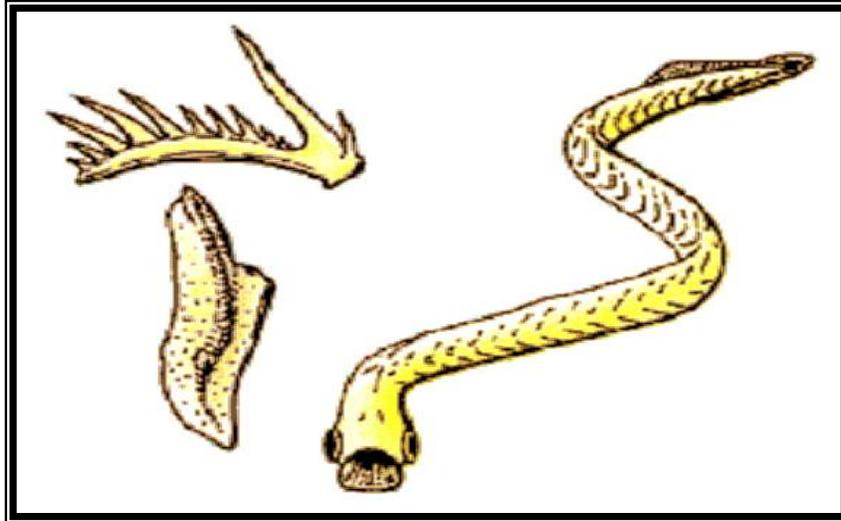


Figure 5 reconstitution d'un Conodonte

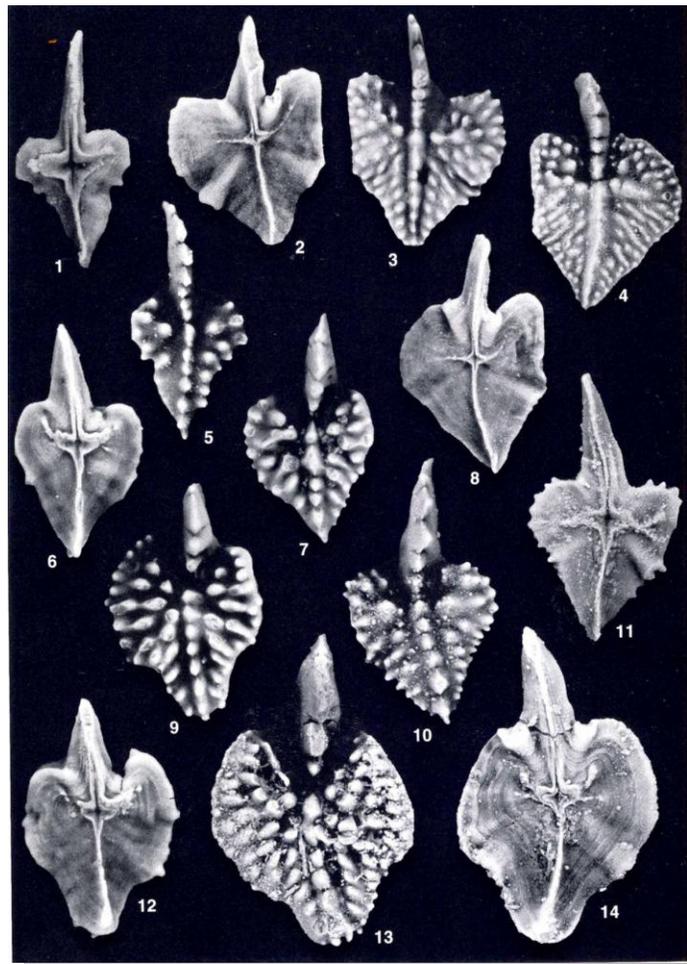


Figure 6. Planche de mâchoires de Conodontes du Dévonien



Figure 7. GSSP Givétien /Frasnien (Col du Puech de la Suque)  
Le Docteur Raimund Feist montre le point précis du GSSP Givétien /Frasnien.  
De gauche à droite : Raymond Lempereur géologue, le professeur Patrick De Wever,  
Raimund Feist et Michel Gastou (Photo A. Cornée)



Figure 8. Vue centrale de la carrière de Coumiac, au centre la dalle anoxique à Goniatites



Figure 9, le Clou d'Or de Coumiac GSSP Frasnien / Famennien (non visible dans la partie visitable de la carrière)

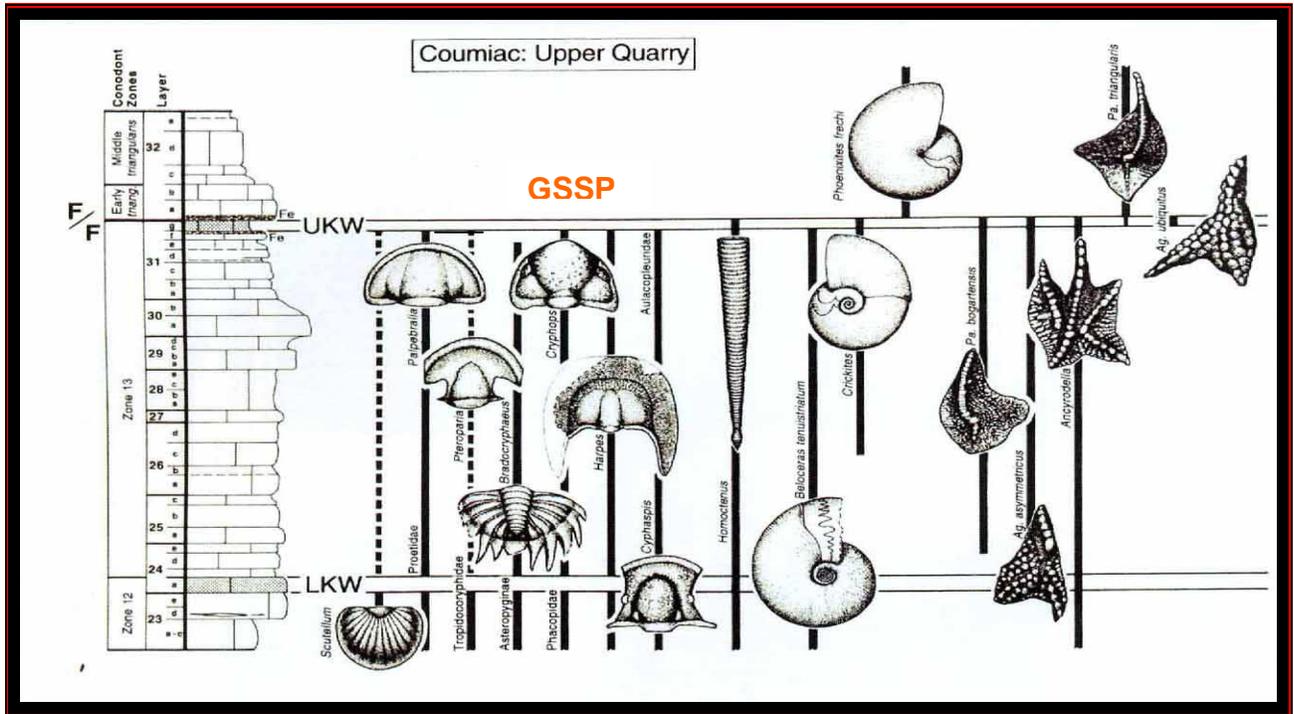


Figure 10. Crise biologique, à la limite Frasnien / Famennien, les extinctions à Coumiac. (House 2000) Icônes des fossiles de Trilobites, Homocidid, Goniatites et Conodontes

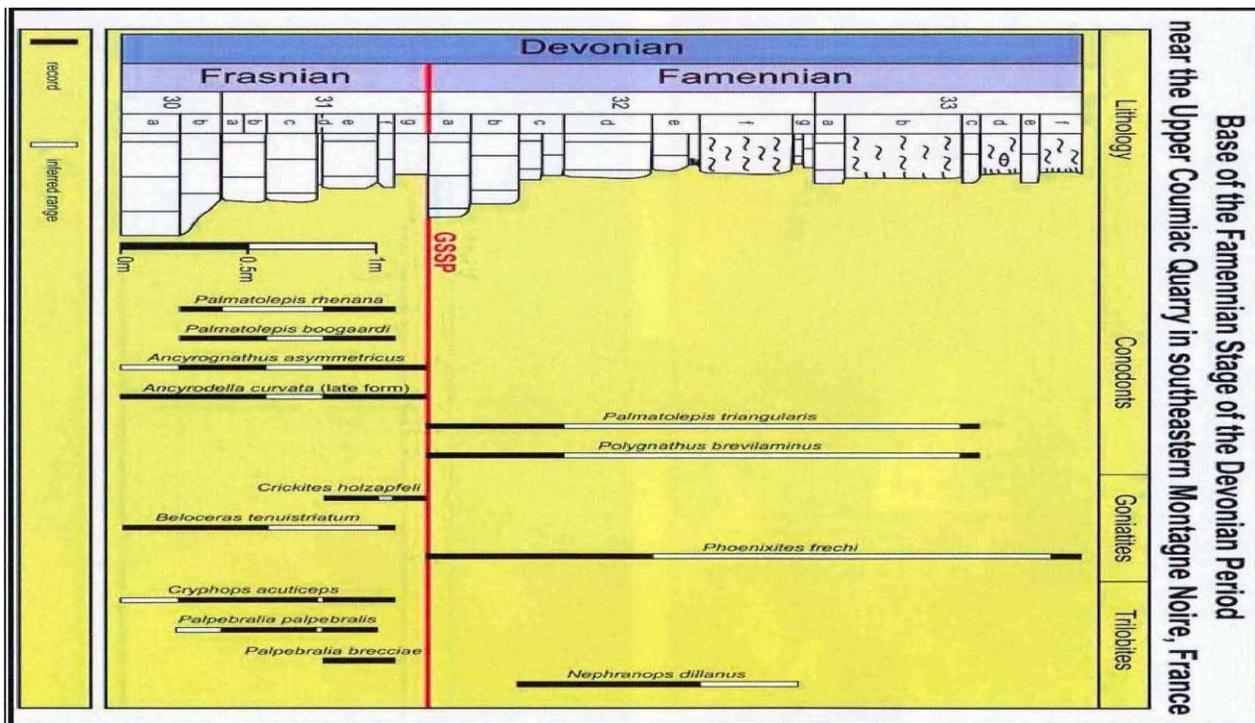


Figure 11. Charte de la grande crise biologique à la limite Frasnien



Mâchoire de Conodont coniforme