

ASSOCIATION VENDÉENNE DE GÉOLOGIE

Bulletin annuel





ASSOCIATION VENDEENNE DE GEOLOGIE

Siège social :
12, rue Édouard Peltier
85000 – LA ROCHE SUR YON

Tél. 02.51.37.37.09



Sommaire

	pages
• Sommaire	1
• Composition du bureau et membres de la rédaction	2
• Editorial du Président	<i>L. Arrivé</i> 3
• Le volcanisme en Auvergne : Volcan de Lemptegy et Vulcania – 11-12 /10/2003	<i>D.Loizeau</i> 4 - 15
• Excursion : " Géologie autour du lac de Grand Lieu – 28 /03/ 2004	<i>J.Chauvet</i> 16 - 23
• Excursion : " La presqu'île du Chay – la Falaise d'Yves " – 25/04/ 2004	<i>J.Chauvet</i> 24 - 28
• Excursion : " La géologie de l'île de Noirmoutier " – 16/05/2004	<i>L. Arrivé</i> 30 - 33
• Excursion : " Le sud du complexe métamorphique des Essarts – Mervent " – 6/06//2004	<i>J.Chauvet</i> 34 - 41
• Excursion : " La série métamorphique de la Chaume " – 26 /09/2004	<i>L. Arrivé</i> 42 - 45
• La réduction du Fer	<i>Claire König</i> 46 - 71
• Fer, fonte et acier depuis 1850	<i>P.Gibaud</i> 72 - 75
• La mesure de la température en métallurgie et en volcanologie	<i>P.Gibaud</i> 76 - 77
• Expositions	<i>L. Arrivé</i> 78 - 80
• Aquarelle	<i>Nicole Arrivé</i> 81

Toute représentation intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'Association de Géologie de la Vendée, est illicite.
(Loi du 11 mars 1957, alinéa 1^{er} de l'article 40)

■ COMPOSITION DU BUREAU

Président : Arrivé Louis

Président d'honneur : Davigo Jacques

Vice-président : Chauvet Jean

Secrétaire : Berthet Gérard

Trésorier : David Roger

Conseiller scientifique : Godard Gaston

Duret Alain

Giraudeau Joseph

Loizeau Dominique

Mahu Christian

Rey Jacques.

■ PUBLICATION DU BULLETIN 2004

Responsable de la publication : Jean Chauvet

Ont collaboré à la réalisation de ce bulletin :

Arrivé Louis

Arrivé Nicole

Chauvet Jean

Gibaud Pierre

König Claire

König Christian

Loizeau Dominique

Illustration et mise en page : Chauvet Jean

* Publication : Mars 2005 *

Editorial

Dans le numéro spécial des 30 ans de l'Association Vendéenne de Géologie, nous avons bien commencé ce XXI^e siècle, en poursuivant nos activités initiales, étude des minéraux et fossiles, des phénomènes géologiques et en orientant nos activités vers d'autres domaines associés à la dynamique de la Terre.

Ce bulletin reflète le bilan des multiples facettes de nos activités. Ce sont d'abord les comptes-rendus de nos différentes sorties: géologie de l'île de Noirmoutier, excursions autour du Lac de Grand-Lieu, sur le littoral charentais, sur la partie sud du Complexe métamorphique des Essarts-Mervent et étude de la série métamorphique de la Chaume. Au cours de ces excursions, les amateurs de minéraux et fossiles ont pu récolter des échantillons et fixer sur la pellicule les sites les plus remarquables.

Un bel article richement illustré nous fait redécouvrir le voyage de 2 jours à Vulcania et Lemptégy « ce volcan à ciel ouvert », et l'excursion à l'intérieur de ce volcan nous a permis de mieux appréhender l'histoire récente des volcans d'Auvergne et les expositions de Vulcania.

L'expérience de la réduction de minerai de fer local dans un bas-fourneau pour obtenir une loupe de fer est décrite avec précision et abondamment illustrée. Cette méthode sidérurgique ancienne a été reconstituée grâce à toute une équipe de bénévoles et à l'assistance technique de 2 chercheurs des universités de Toulouse et de Bordeaux.

Les préparatifs et les 2 journées d'expérimentation ont été mémorisés dans un diaporama, un film DVD et un descriptif richement détaillé. Ces journées sont les résultats de la curiosité et l'enthousiasme de nombreux adhérents. Il est important de donner une suite à ce travail, reconstitution d'une nouvelle expérimentation et intervention auprès des élèves des écoles et collèges pour leur permettre de mieux comprendre cette longue page de l'histoire du fer et de la sidérurgie née sur les bords du Caucase.

Tout au long de nos activités associatives, il est important de *«garder cette amitié spontanée qui s'est tissée entre ses membres et qui constitue le lien le plus solide au sein de notre communauté»*

■ *Louis Arrivé*



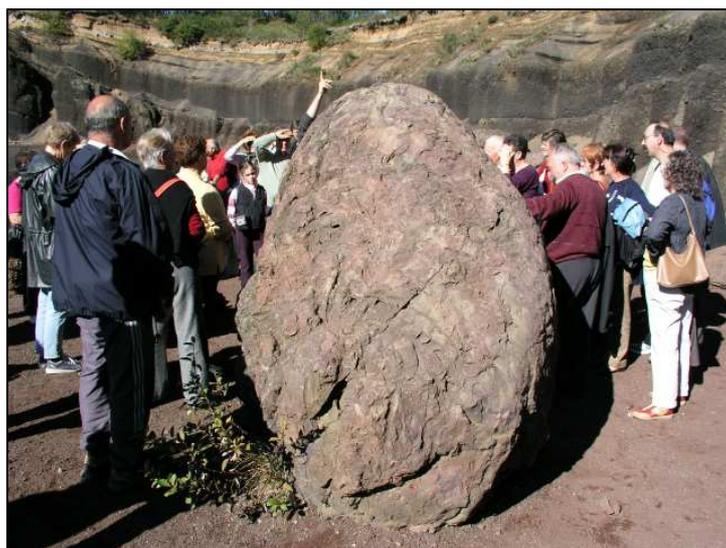
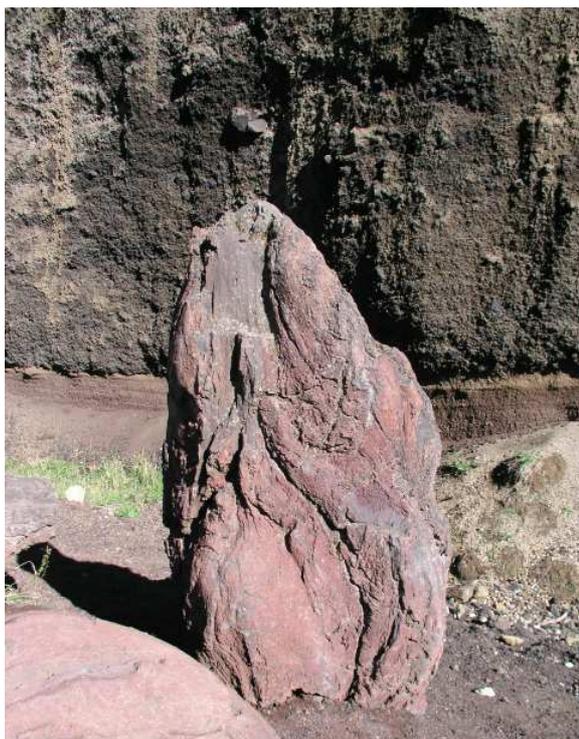
▲ Les membres de l'association à l'écoute du guide de Lemptégy.



▲ Le cratère de Lemptégy 1 .



▲ Le guide explique la superposition des couches de scories de couleurs différentes. ▲



▲ Une bombe volcanique qui impressionne les membres de l'association.

◀ Lave figée dans une bombe volcanique de Lemptégy 1 .

Le volcanisme en Auvergne

- 11 et 12 Octobre 2003 -

Le 11 Octobre 2003 , les membres de l'Association Vendéenne de Géologie prennent le car à la Roche sur Yon pour une visite de deux jours dans le Massif Central près de Clermont-Ferrand . Le volcan à ciel ouvert du Puy de Lemptégy et le parc européen du volcanisme " Vulcania " sont au programme . Les visites guidées ou libres vont permettre de répondre à deux questions :

- Comment expliquer l'origine du magma et donc le volcanisme passé dans la chaîne des Puys ?
- Quelle est la structure d'un volcan de la Chaîne des Puys et ses principales caractéristiques ?

La visite du Parc Européen du Volcanisme " Vulcania " nous permet de répondre au premier problème et la visite guidée du Puy de Lemptégy au second.

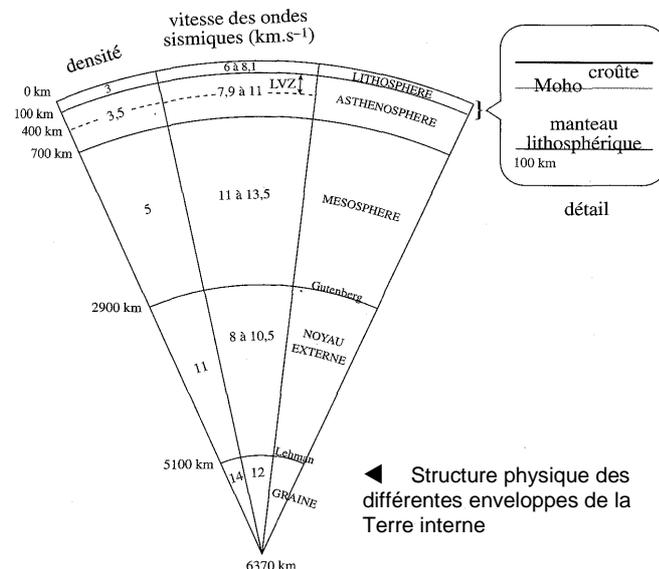
■ L'origine du magma dans la chaîne des Puys.

Pour expliquer l'origine du magma d'un volcan , il faut d'abord considérer la structure interne du globe terrestre car seule la surface et quelques centaines de mètres en profondeur sont abordables (forages) .

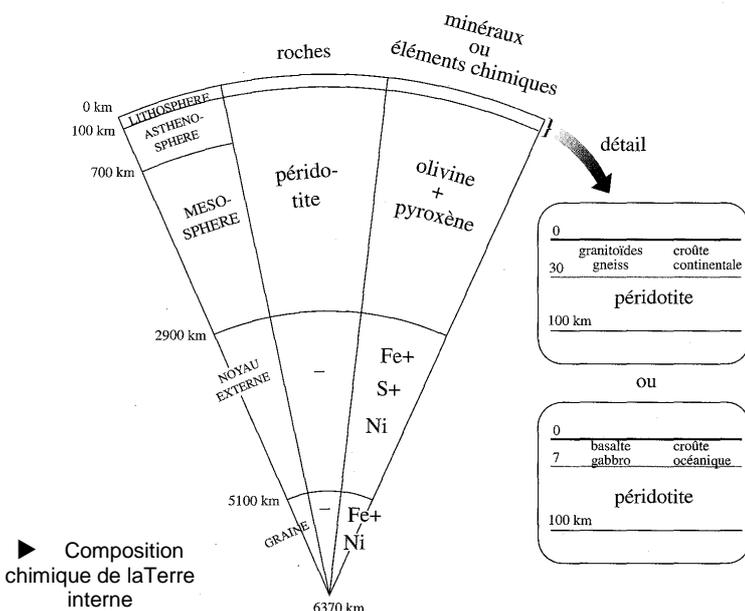
1 – La structure interne du globe terrestre.

On connaît bien le volume et la masse de la Terre, et donc sa densité moyenne : 5,52 . Les roches accessibles en surface ayant des densités inférieures à 3 , il doit nécessairement exister en profondeur des matériaux de forte densité . C'est l'étude de la propagation des ondes sismiques qui fournit le plus d'informations sur la répartition des densités du globe et la nature de ses constituants , à la manière d'une radiographie . Elle montre que la vitesse des ondes varie de deux façons . D'une part elle augmente lentement avec la profondeur , donc avec la pression , traduisant une augmentation progressive de la densité . D'autre part , elle augmente brusquement à plusieurs niveaux , traduisant des différences de nature des matériaux . Les expériences de laboratoire sur des matériaux variés soumis à des pressions croissantes permettent de choisir ceux qui rendent compte des vitesses observées .

La première discontinuité importante - le " Moho " - sépare la croûte du manteau; elle est à 35 km de profondeur en moyenne sous les continents , mais varie beaucoup suivant les contextes . La croûte océanique ,



Structure physique des différentes enveloppes de la Terre interne



Composition chimique de la Terre interne

basaltique , n'a que 7 km d'épaisseur en moyenne . La croûte continentale , nettement plus épaisse , 30 km en moyenne , est formée surtout de granite, et de roches plus denses dans sa partie inférieure . Le manteau est constitué de péridotite , une roche où domine un silicate riche en fer et magnésium l'olivine (= péridot) . La seconde discontinuité , à 2900 km, sépare le manteau du noyau . Ce dernier est formé d'un alliage de fer-nickel, avec un peu de soufre.

Deux autres limites fondamentales sont d'origine thermique elles séparent des domaines aux propriétés physiques différentes , bien que chimiquement identiques :

La première passe à l'intérieur du manteau supérieur , vers 100 km de profondeur en moyenne , où règne une température d'environ 1300°C compte tenu de la pression , c'est une zone moins rigide et donc ductile , ce qui explique que la vitesse des ondes sismiques y soit ralentie ("zone des faibles vitesses ou LVZ ") . Au-dessus , la partie superficielle du manteau , rigide, et la croûte forment la lithosphère . En dessous se trouve l'asthénosphère , sur 700 km d'épaisseur .

Cette partie du manteau supérieur, bien que solide, est brassée par des courants de convection d'origine thermique. Le manteau inférieur (ou mésosphère) est moins déformable, mais il est affecté aussi par des convections, nettement plus lentes, qui vont contribuer au transfert d'une partie de la chaleur du noyau vers l'asthénosphère.

Une seconde limite, à 5100 km de profondeur, sépare le noyau en deux parties. Le noyau externe qui se comporte comme un liquide vis-à-vis des ondes sismiques, alors que le noyau interne (la "graine") est solide. La graine continue à s'agrandir aux dépens du noyau externe, et c'est cette cristallisation qui fournit la chaleur nécessaire à le maintenir à l'état liquide. Le noyau externe est brassé par des courants de convection rapides (plusieurs km par an) à l'origine du champ magnétique de la terre.

Un fait essentiel est que cette chaleur du noyau ne peut se dissiper par conduction à travers le manteau. Il se forme à la base de celui-ci une zone instable plus chaude - et donc moins dense et moins visqueuse. Sa déstabilisation produit des panaches mantelliques solides, qui s'élèvent (diapirs) en restant alimentés par cette zone et explique par la suite le volcanisme de point chaud qui leur est associé.

2 – La fusion partielle des péridotites solides du manteau.

On sait que des mouvements de convection remontent de la péridotite solide du manteau, mais le passage de l'état solide à l'état liquide (magma) résulte des conditions physico-chimiques existant au cours de cette remontée mantellique. Comment une roche solide comme une péridotite peut-elle fondre et engendrer des magmas à l'origine de roches (basalte par exemple) de composition différente de cette roche initiale? La réponse est expliquée par la **fusion partielle**.

Des expériences de laboratoire ont permis de connaître le comportement de la péridotite en fonction de la pression et de la température auxquelles on la soumet. Deux courbes appelées solidus et liquidus traduisent les résultats obtenus. La première sépare le domaine où la roche est entièrement solide de celui où coexistent la roche et un liquide provenant de sa fusion. La seconde sépare ce domaine de fusion partielle de celui où la roche est entièrement fondue. Deux points doivent être très bien perçus :

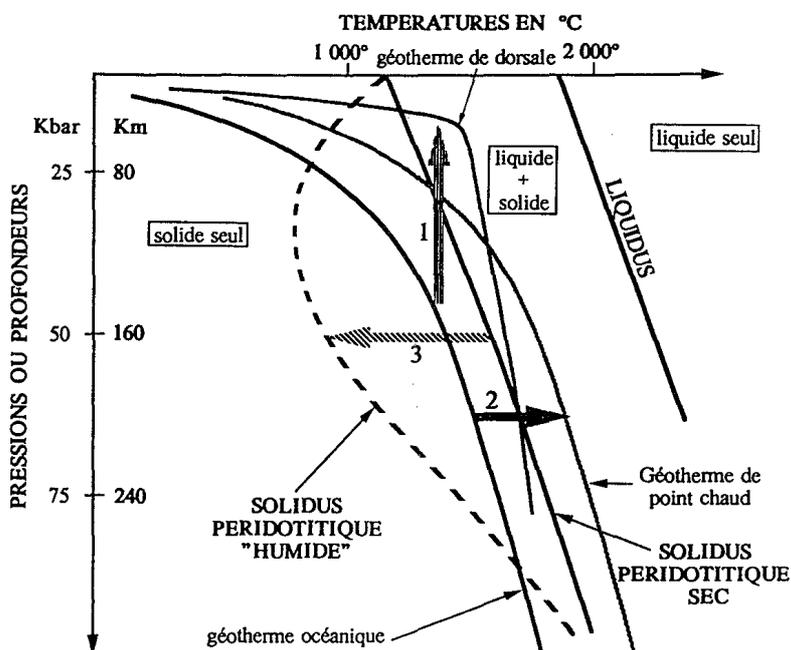
- la température de fusion commençante augmente avec la pression ; autrement dit, plus la profondeur est grande, plus la température est élevée (et réciproquement).
- il existe un domaine de fusion partielle. Pour un corps pur, le liquidus et le solidus sont confondus. La fusion partielle traduit le fait que la péridotite est formée par plusieurs espèces minérales dont les points de fusion sont différents.

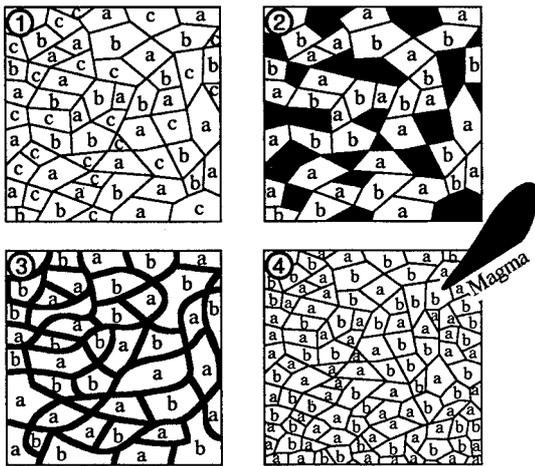
Le géotherme de dorsale traduit le comportement thermique du diapir asthénosphérique qui remonte sous la dorsale. Il est quasi vertical ; l'asthénosphère remonte en gardant à peu près la même température, du moins de -200 à -20 km. La température de cette asthénosphère est toujours inférieure à celle du liquidus la péridotite ne fond jamais complètement.

Imaginons alors une péridotite asthénosphérique vers 100 kilomètres de profondeur qui remonte au travers du manteau (au niveau d'une dorsale). Sa température est inférieure à celle de son solidus : elle est entièrement solide. Au cours de son ascension, elle garde la même température (à peu près) alors que la pression à laquelle elle est soumise diminue. Elle se rapproche ainsi de son solidus qu'elle croise vers 60-50 km environ. Elle subit à partir de cet endroit **une fusion partielle qui ne dépasse pas 10 à 20 % (1)**. Si c'est au niveau d'un point chaud, l'augmentation de la température fait que le géotherme océanique est déplacé vers la zone de fusion partielle (2).

L'apport permanent et important de magma (dorsale rapide) ou faible et discontinu (dorsale lente) contribue ainsi à la formation de la croûte océanique et à l'expansion des fonds océaniques de 1 à 10 cm par an. L'ensemble des dorsales océaniques mondiales qui représentent plus de 60000 km de long est la principale source de roches magmatiques à la surface du globe. La partie non fondue (résiduelle) de la péridotite, soit 80 à 90% de la roche initiale, reste en-dessous de la croûte nouvellement créée.

▼ Les trois cas possible de fusion de la péridotite mantellique en liaison avec la tectonique des plaques.





◀ Fusion de la péridotite asthénosphérique et genèse du magma basaltique

Les premiers minéraux à fondre sont ceux qui contiennent de l'aluminium, du calcium, ce qui conduit à un magma ayant une composition chimique différente de la péridotite.

La péridotite asthénosphérique fond lentement en profondeur du fait de la décompression qui a lieu à l'axe de la dorsale. L'asthénosphère est à une température légèrement supérieure à celle de son solidus (1300°) à la pression considérée, donc elle ne fond pas. En revanche, si la pression diminue (expansion océanique) il y a alors remontée, puis fusion partielle de l'asthénosphère, ce qui donne naissance à un film liquide autour des cristaux d'olivine, de pyroxène. Lorsque le taux de fusion augmente, le film liquide donne naissance à de petites gouttelettes qui ensuite se rassemblent et forment un espèce de réseau

magmatique. La densité diminuant encore le liquide s'échappe de son point de formation. Il se crée ainsi un magma qui monte de plus en plus vite vers la surface, ce qui évite des déperditions de chaleur; c'est la décompression adiabatique. Le magma liquide et chaud (1200 °C), issu de la fusion des minéraux les plus fusibles, s'extrait de la roche source, migre vers la surface et s'accumule dans la chambre magmatique. Il peut alors s'injecter dans le toit de la chambre magmatique engendrant des filons ou des coulées de basalte en coussins ou refroidir lentement engendrant des gabbros à la base des basaltes au niveau d'une dorsale océanique ou bien être plus ou moins contaminé par d'autre matériau si c'est le début du rifting (laves de nature alcaline).

3 – Le magmatisme d'une zone intraplaque dans le Massif central.

L'origine de la fusion et donc des magmas étant élucidée, il reste à privilégier l'hypothèse la plus plausible qui expliquerait le volcanisme auvergnat. En dehors d'une zone de subduction, il reste deux hypothèse possible, le rifting ou le point chaud.

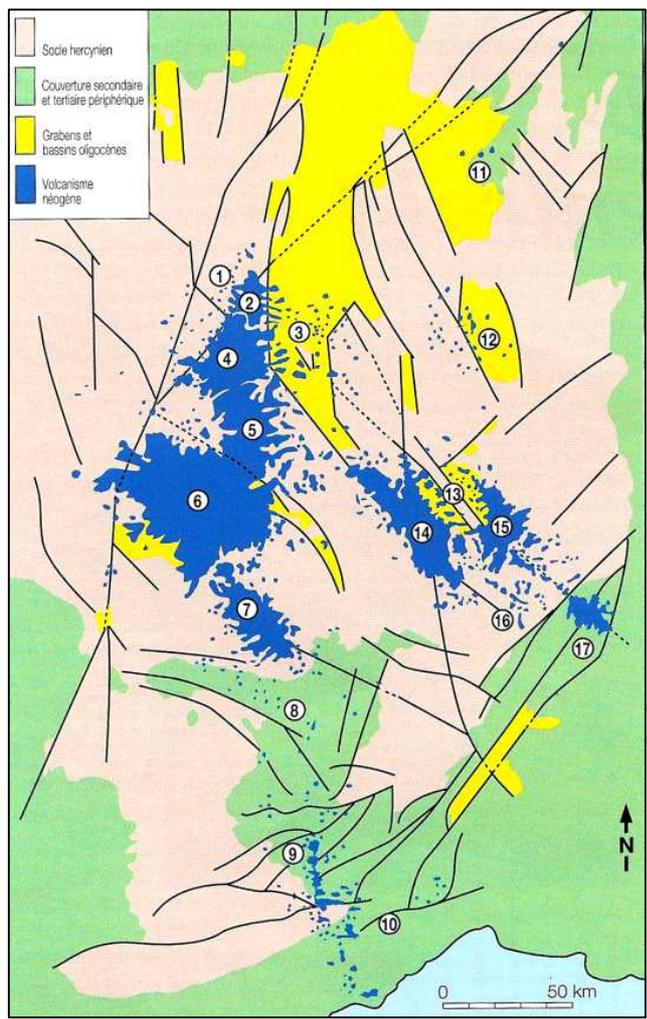
▶ Répartition du volcanisme dans le Massif Central. (d'après Goërt et Mergoïl, 1971)

- 1 – Chaîne de la Sioule. 2 – Chaîne des Puys. 3 – Limagne, Comté, livradois
- 4 – Monts Dore. 5 – Cézalier. 6 – Cantal. 7 – Aubrac. 8 Causses
- 9 – Escandorgue. 10 Bas-Languedoc. 11 – Bourgogne. 12 – Forez.
- 13 – Bassin du Puy et Emblavès. 14 – Devès. 15 – Velay Oriental.
- 16 – Bas-Vivarais. 17 – Coiron.

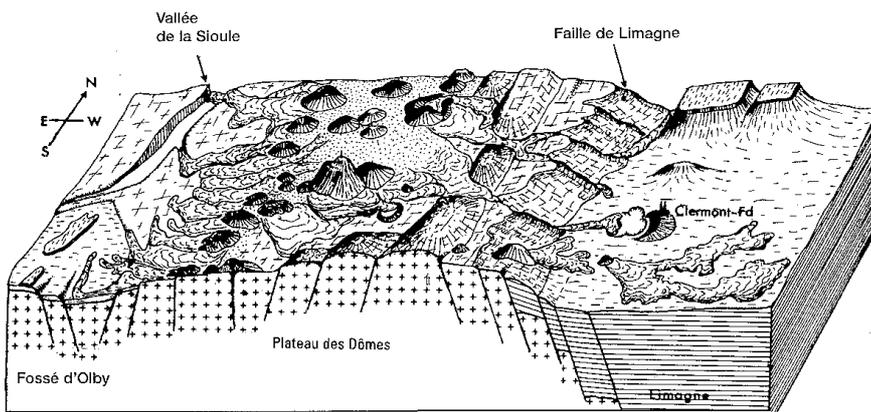
Le volcanisme du Massif Central français est un volcanisme alcalin intraplaque continental, associé à une série de fossés qui lézardent la plaque européenne de la Méditerranée à la Mer du Nord et à la Baltique. La Limagne est l'un de ces fossés, dont l'ensemble constitue le "rift rhodano-rhénan".

A ce titre, notre volcanisme ne peut être dissocié de celui d'Allemagne ou de Bohême, qui n'en diffèrent que par un âge statistiquement plus ancien, et par des laves de composition globalement plus alcaline.

Peu après le début du Tertiaire, pendant l'Eocène, le Massif Central subit des poussées orientées nord-sud (phase "pyrénéenne"). Elles sont suivies d'une période de distension ENE-WSW à l'Oligocène, avec pour effet l'ouverture et l'affaissement de fossés (ou rifts) : les Limagnes. Simultanément, l'érosion est activée; elle fournit la part détritique des sédiments qui vont remplir ces fossés, parfois sur de grandes épaisseurs, comme au niveau de Riom où il en subsiste près de 3000 m. Durant la période suivante, le Miocène, les distensions deviennent d'abord franchement est-ouest, puis vont faire place à des compressions : c'est la période du paroxysme alpin. Sous l'effet de ces poussées, le Massif Central est soulevé et basculé, le relèvement du côté des Alpes atteignant près de 1500 m. La fin du Tertiaire et le Quaternaire sont, à nouveau, des périodes d'extension de direction globalement est-ouest. Elles correspondent à une nouvelle phase de sédimentation, en particulier à la fin du Pliocène en Velay et en Bourbonnais.



▼ Position morphostructurale de la chaîne des Puys.



La période actuelle connaît au contraire un régime de compression nord-sud, comme l'indiquent les séismes relativement nombreux (une centaine par an) qui affectent cette région. Ces séismes restent d'intensité très modérée, mais quelques-uns ont jadis provoqué d'importants dégâts dans les régions de Riom, Clermont Ferrand et Orcival, en 1477 et surtout 1490. Ils constituent actuellement un risque supérieur au risque volcanique.

Dans l'état actuel des connaissances il apparaît que le volcanisme du Massif Central a débuté à l'aube du Tertiaire, il y a 65 Ma (= millions d'années), par des émissions de basaltes dispersées au nord (

Bourgogne, Charolais, région de Menat, Forez) et au sud (Causses et Bas Languedoc). Après l'interruption de l'Oligocène, période d'affaissement des Limagnes, il se fait de plus en plus intense avec l'activité de la Limagne de Clermont, du Velay oriental, du Cantal, des plateaux basaltiques (Aubrac, Coiron, Cézalier et Devès) et du massif des Monts Dore. Après l'activité limitée très récente de la Chaîne des Puys et du Bas-Vivarais, il n'existe aucun indice annonçant de nouvelles éruptions dans un avenir prévisible. Ouf !!

L'essentiel des volcans auvergnats s'est donc mis en place après la fracturation oligocène et la formation des fossés. Les deux directions principales, N-S et NW-SE, de ces accidents contrôlent à l'évidence les alignements volcaniques.

Les Limagnes d'Auvergne (mais également la Bresse) se caractérisent par un apport de chaleur élevé provenant de l'intérieur de la Terre (flux thermique). La valeur de ce flux atteint jusqu'à deux fois celles rencontrées ailleurs en France. Il s'accompagne de venues importantes de gaz carbonique, en particulier au niveau des sources thermales. Les mesures de géochimie isotopique montrent que l'origine de ce gaz carbonique se situe dans le manteau.

La structure profonde du Massif Central est surtout connue par les études de sismologie. Toutefois l'examen des enclaves de péridotite remontées par les volcans apporte des indications supplémentaires sur la chimie, la structure et l'histoire du manteau sous-crustal. Si cette histoire apparaît très ancienne et complexe, la composition des minéraux constitutifs indiquerait que ces roches ont subi un refroidissement récent.

Des études de sismique expérimentale, déjà anciennes, montraient une remontée de matériel mantellique sous les fossés. Reprises récemment avec d'autres méthodes (tomographie sismique), elles permettent de délimiter des zones dans lesquelles les ondes se déplacent plus lentement que dans le reste du manteau. Les auteurs estiment que ces anomalies de vitesse sont liées à des roches plus chaudes.

Deux mécanismes principaux sont actuellement évoqués pour expliquer la formation, au sein des plaques, de fossés d'effondrement associés à du volcanisme alcalin.

➔ **Le « rifting passif »** : La lithosphère est soumise en permanence aux contraintes dues à la dérive des plaques. Ces contraintes peuvent être compressives, comme lors du télescopage des plaques qui donne les chaînes de montagnes (l'Himalaya est le résultat de la collision de l'Inde et de l'Asie, les Alpes celui de l'Afrique et de l'Europe) ou distensives, dans les zones d'ouverture océanique, mais aussi à la périphérie des zones en cours de plissement. Dans les zones en distension, la lithosphère est étirée, ce qui conduit à son amincissement puis à sa rupture (création de rifts). Ceci provoque mécaniquement la remontée de l'asthénosphère plus chaude au voisinage de la surface, avec pour effet d'augmenter le flux thermique, et aussi parfois de déclencher la fusion du manteau, et donc l'apparition de volcanisme (souvent très alcalin). Voici les arguments pour le rifting passif en auvergne :

- La chronologie des éruptions ne témoigne d'aucune migration systématique du volcanisme selon une direction déterminée,
- Le volume total des produits est faible (moins de 2000 km³).
- L'alignement des édifices ne semble contrôlé que par la fracturation antérieure du substrat
- Les Limagnes sont synchrones du début de la phase de structuration des Alpes externes. Ailleurs en Europe, de tels fossés du même âge existent, sans volcanisme nécessairement associé, et s'expliquent bien dans le contexte de l'orogénèse alpine.
- Le manteau sous l'Auvergne serait déjà en voie de refroidissement.

➔ **Le « point chaud »** : Le point chaud permet la remontée de matériel mantellique très profond, et s'exprime en surface par des magmas tholéïtiques et alcalins. L'échelle de durée du phénomène est telle (de l'ordre de la centaine de Ma) qu'il se comporte comme un point fixe dans le ballet de la dérive des continents. En conséquence, son activité donnera sur la plaque sus-jacente un chapelet de volcans dont l'espacement et l'âge relatif permettront de connaître la direction et la vitesse de dérive de la plaque. Ce genre de phénomène est particulièrement bien illustré par les points chauds du Pacifique (Hawaii,)

Polynésie). Si la plaque dérive très lentement, il y aura accumulation locale d'un volume énorme de produits volcaniques. Le point chaud de la Réunion, qui a commencé par l'émission des empilements de coulées (trapps) du Deccan (1,5 M km ou ceux qui jalonnent l'océan Atlantique (Islande, Açores, Tristan da Cunha) en sont des exemples parlants. Si le point chaud est modérément actif, en particulier à l'aplomb d'une zone continentale, le bombement initial qu'il provoquera par échauffement et allègement de la lithosphère restera visible. Ce bombement provoque un étirement lithosphérique, qui se traduit par la formation de fossés d'effondrement. Ce type pourrait être illustré par le massif du Tibesti, au Tchad. Voici les arguments pour le point chaud en auvergne :

- Ceci peut être en accord avec le très faible déplacement supposé de la plaque européenne depuis le début du Tertiaire.
- Le faible volume est compatible avec un point chaud faiblement actif.
- Le volcanisme précède, puis suit l'ouverture des Limagnes, mais ne l'accompagne pas. Cette ouverture semble avoir été précédée d'un bombement crustal limité. Ailleurs en Europe, le maximum de l'activité volcanique se produit à des époques différentes.
- La géophysique révèle dans le manteau des masses de roches chaudes, décelées jusqu'à plus de 240 km de profondeur, et dont l'extension est indépendante de celle des fossés superficiels.

► **Voici les arguments communs aux deux hypothèses :**

- Les laves sont de nature alcaline.
- Le flux thermique régional est élevé.
- Il existe de nombreuses sources carbo-gazeuses.

Pour concilier ces observations contradictoires, les travaux actuels tentent de faire intervenir les deux processus. A partir de la synthèse des éléments connus, la zone des Limagnes est interprétée comme un pur rift passif, tandis que la partie sud est liée à une remontée de matériel mantellique profond. L'origine de cette venue serait à rechercher soit dans un vaste "point chaud" européen avorté, soit dans le matériel asthénosphérique déplacé par l'enfoncement de la racine des Alpes. A suivre ...

■ **La structure d'un volcan d'auvergne : le Puy de Lemptégy.**

1 – Les édifices volcaniques d'Auvergne.

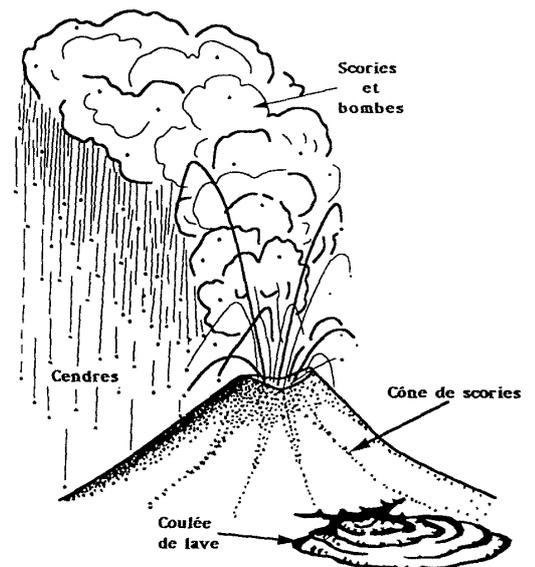
Par leur morphologie et leur structure, les volcans de la Chaîne des Puys peuvent être classés en trois catégories, répondant à trois types d'éruptions :

- les cônes de scories et leurs coulées, pourvus d'un ou plusieurs cratères, au nombre de 70. Dans ce cas, il y a alternance de phases explosives et de phases effusives. Les cônes de scories, et les coulées de lave qui les accompagnent, sont engendrés par des magmas de composition basaltique à trachyandésitique. Emis à des températures de l'ordre de 1000 à 1150°, ils sont fluides. Ce sont les plus communs, et les cônes sont donc les édifices les plus abondants.

Les gaz se séparent du magma en formant des bulles qui augmentent de taille avec la baisse de pression. A leur arrivée au sommet du conduit éruptif, ces bulles éclatent, projetant rythmiquement des paquets de lave incandescente dans les airs. L'accumulation de ces projections autour du point de sortie édifie peu à peu un cône circulaire à cratère central, dont les pentes n'excèdent pas 30 à 35° (pente limite d'un talus d'éboulis). L'édification d'un cône de 200 à 300 m de hauteur et 1 km de diamètre s'effectue en quelques semaines à quelques mois, mais son activité peut exceptionnellement se prolonger quelques années.

On définit les projections laviques en fonction de leur calibre (D = Diamètre):

- D > 64 mm - blocs
- 2 mm < D < 64 mm - lapilli
- D < 2 mm – cendres



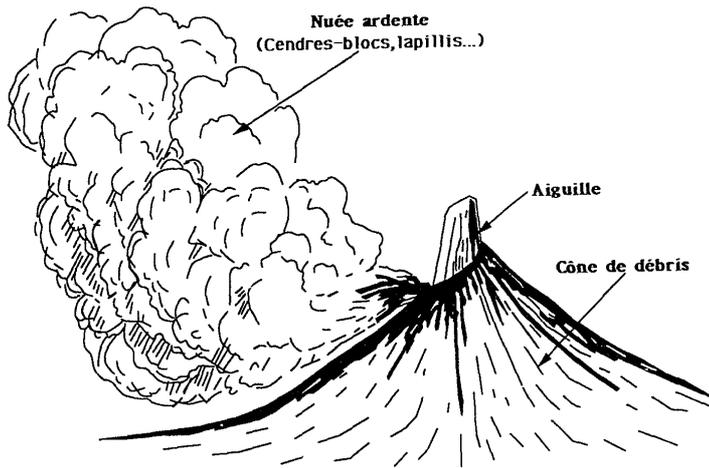
▲ Volcan de type effusif.

Les blocs ont acquis une forme particulière alors qu'ils étaient encore plastiques, en tournoyant dans les airs (bombes en fuseau) ou en s'écrasant au sol (bombes en bouse de vache). Mais la majorité des fragments projetés sont contournés, hérissés d'aspérités, sans forme définie. Tous ces éléments sont bulleux, mais leur densité est supérieure à 1 ; on les qualifie de scories par analogie avec les déchets de la métallurgie (du grec skôria - écume de fer).

La teinte normale des scories est noire ou gris sombre, mais par oxydation du pigment ferreux au contact de l'oxygène de l'air, alors qu'ils sont encore à haute température (plus de 6000), les matériaux du coeur du cône acquièrent une teinte rouge caractéristique ; sur la périphérie, trop froids pour s'oxyder, ils conservent leur teinte originelle.

Vers la fin de l'éruption, alors que le magma s'est séparé de l'essentiel de ses gaz, la lave sort de façon passive, "effusive", sous forme d'une coulée qui s'insinue à la base du cône et s'épanche plus ou moins loin. En se refroidissant et se solidifiant, la lave incandescente devient une roche noire à grise : basalte, trachybasalte ou trachyandésite. Ainsi les scories, rouges ou noires, et les laves massives d'aspect basaltique ne sont-elles que des formes différentes du même matériau, qui reflètent ses divers modes de mise en place.

Il arrive fréquemment qu'une coulée, en sortant de dessous le cône, le déstabilise et en entraîne une partie sur son dos (ce fut le cas des deux volcans successifs de Lemptégy). Plus rarement, l'émission de la coulée s'effectue dès le début de l'éruption, empêchant la construction du cône d'un côté (cas des *puy de La Vache et Lassolas*). Dans un cas comme dans l'autre, on obtient un cratère dissymétrique, ébréché ou ouvert d'un côté, dit « égueulé ».



▲ Volcan de type explosif avec aiguille.

vitesse pouvant atteindre 200 km/h si la dénivellation est importante. Si la pente est très faible, comme c'est le cas au pied du puy de Dôme, l'écoulement est rapidement freiné, et l'avalanche ardente ne s'éloigne guère du volcan.

Mais ce schéma simple peut présenter des variantes. Dans certains cas, une grande partie du dôme en cours de croissance s'écroule sous l'effet de la gravité, et se reconstruit par la suite c'est ce qui est arrivé au Sarcoui, et au puy de Dôme. Ou encore, le dôme peut être décapité par de violentes explosions verticales, qui y creusent un profond cratère : c'est le cas du cratère Kylian.

Enfin, dans certains cas de viscosité extrême de la lave, celle-ci monte lentement à l'état quasi solide sous la forme d'un piston cylindrique appelé "aiguille de protrusion". Dans les deux exemples connus dans la Chaîne des Puys : Chopine et Vasset, l'ascension de la protrusion n'a représenté que la phase finale de l'éruption.

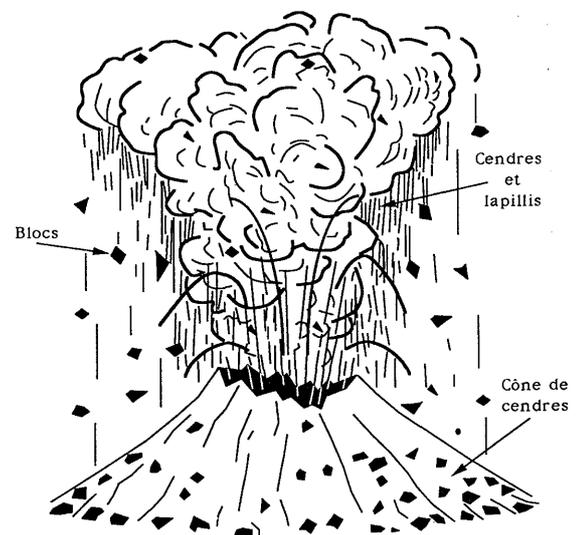
On peut aussi observer de nombreux dômes de phonolites et de trachy-andésites, dont le plus célèbre est le Mont Gerbier des Joncs (source de la Loire située en Haute Ardèche). Les roches Tuillière et Sanadoire dans le Mont Dore sont 2 dômes de phonolite à haiÿne = feldspathoïde à groupement sulfate, de couleur bleue, dont une variété pure s'appelle le lapis-lazuli .

- les cratères d'explosion ou "maars" au nombre de 18 . Un maar est un cratère circulaire entaillé dans le sol. Son diamètre varie de 100 m à 1,5 km, pour une profondeur de 10 à 200 m.

A la différence des cônes de scories et des dômes, les maars résultent de phénomènes explosifs qui ne doivent rien à la nature du magma émis.

L'arrivée d'un magma en surface peut être perturbée par un facteur externe l'eau d'une nappe souterraine, d'un lac ou d'une rivière. La chaleur du magma, transférée à l'eau du milieu ambiant, entraîne la vaporisation explosive de cette eau : On parle d'éruption phréatomagmatique. Le gaz moteur est alors la vapeur. Dans ces conditions, les magmas basaltiques acquièrent une explosivité équivalente à celle des magmas riches en silice.

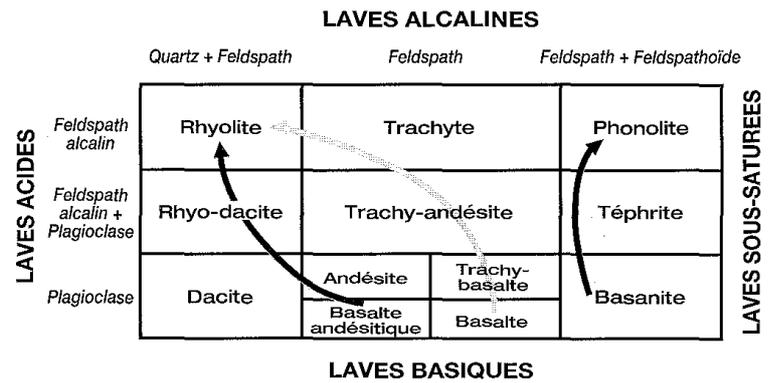
Le maar-type suppose un régime phréatomagmatique constant pendant toute la durée d'une éruption. Les maars les plus connus sont ceux qui contiennent un lac (lac Pavin, Gour de Tazenat). Mais il existe de multiples variantes à cette modalité. Ainsi, l'eau peut se tarir au cours de l'éruption, qui va reprendre son régime « normal » le maar est alors comblé par un lac de lave, ou un cône de scories plus ou moins volumineux (c'est ce qui s'est produit au Pariou), ou éventuellement par un dôme (comme ce fut le cas au Sarcoui).



▲ Volcan de type explosif à l'origine d'un maar

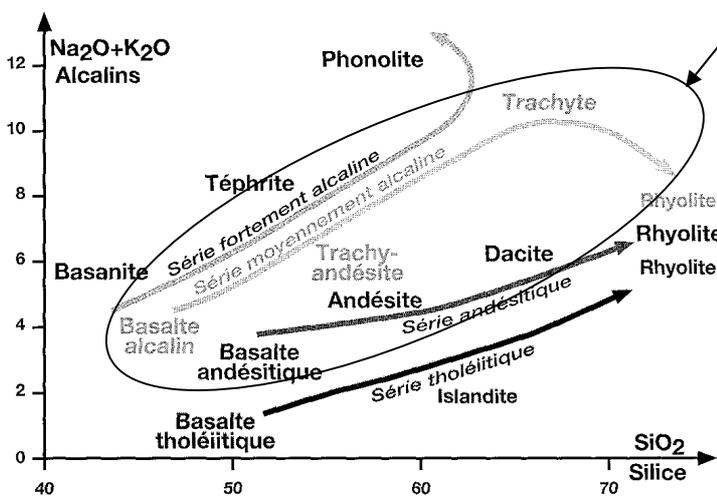
2 – Les roches volcaniques d’Auvergne.

Lorsque les laves sont projetées par les explosions, elles sont fragmentées, bulleuses (“scories” à l’aspect de mâchefer constituant les cônes à cratère), ou denses (blocs des nuées ardentes associées aux dômes, bombes “trempées” des dépôts des maars). Dans le cas contraire, les laves s’épanchent sur les pentes et dans les vallées (coulées), ou s’accumulent au-dessus de l’orifice éruptif (dômes) ; elles sont alors massives, non fragmentées, parfois un peu bulleuses.



▲ Classification minéralogique des roches volcaniques.

Les roches de la Chaîne des Puys présentent une gamme de teintes qui va du noir au blanc-crème en passant par toutes les nuances de gris. Cette variété des teintes traduit une diversité des compositions chimiques et minéralogiques. Les principales laves à l’origine des roches sont définies en fonction de la présence ou de l’absence de minéraux silicatés tels que les feldspaths alcalins, les plagioclases et les feldspathoïdes et le quartz. Les laves “basiques”, riches en magnésium et fer, sont également riches en calcium (plagioclase) tandis que les laves “acides” sont riches en silice (présence de quartz). Les laves “alcalines” sont suffisamment riches en sodium et potassium pour contenir du feldspath alcalin mais si elles ne contiennent pas suffisamment de silicium, elles seront dites “sous-saturées” et contiendront des feldspathoïdes. Les flèches sur le tableau ci-dessus indiquent les liens génétiques (filiation) possibles entre les diverses catégories.



En fonction de leur composition chimique, on répartit ces roches en six classes (par ordre de teneur croissante en silice, soude et potasse, qui va de pair avec une teinte de plus en plus claire) basanites (rares), basaltes, trachybasaltes (laves les plus abondantes de la chaîne), trachyandésibasaltes, trachyandésite, trachytes. La lave la plus évoluée (on dit “différenciée”) de la chaîne est à la frontière des trachytes et d’une septième classe : celle des rhyolites. Le graphe récapitule la composition chimique de ces six classes, sur des exemples pris dans l’environnement de Lemptégy. Mais il convient d’insister sur le fait qu’il existe tous les intermédiaires et que les coupures sont purement conventionnelles.

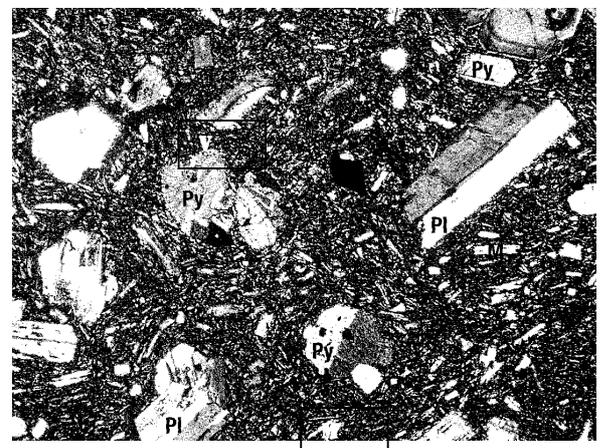
◀ Classification chimique des roches volcaniques.

Toutes ces roches volcaniques ont une structure hémicristalline. Cette structure est bien visible sur une lame mince observée au microscope polarisant.

On distingue quelques phénocristaux (cristaux de taille importante) « Noyés » dans une pâte constituée de microlithes (cristaux microscopiques) et de verre.

► **Lame mince d’andésite au microscope polarisant.**

- PI = feldspath plagioclase
- Py = pyroxene
- V = verre
- M = microlithes de feldspath



On peut noter que ces différentes roches présentent une plus ou moins grande quantité d’enclaves contenant des gaz volcaniques et/ou atmosphériques surtout si la lave est projetée en l’air.

3 – Le puy de Lemptégy .

La géologie est une science de devinettes permanentes dans un paysage couvert de végétation , les points d’observation sont rares, en dehors de travaux humains le plus souvent très transitoires. Une carrière représente toujours un accès exceptionnel à la troisième dimension, donc une leçon d’anatomie du sous-sol . Mais celle-ci est unique en son genre, par la richesse et la variété des enseignements qu’elle apporte. Enseignements géologiques d’abord , mais pas uniquement . Certes, grâce à une exploitation vieille de plus de cinquante ans, qui l’a évidé jusqu’à déchausser sa cheminée, c’est l’anatomie d’un volcan élémentaire de type “cône de scories” qu’il nous est donné de découvrir ici : Mais le contenu va bien au-delà , ce sont deux volcans qui se sont succédés sur ce site même il y a 30000 ans environ . Le premier s’est déchiré, disloqué et affaissé en même temps qu’il était copieusement arrosé par son voisin immédiat, le puy des Gouttes. Le second a été à son tour enseveli sous les produits émis successivement par deux autres de ses proches voisins : d’abord, du côté sud, par le puy de Côme, il y a 16000 ans, alors qu’un climat glacial interdisait encore le développement de toute végétation ; puis, du côté nord, par le puy Chopine, voici 9500 ans, alors que le réchauffement avait permis la réinstallation d’une couverture forestière. C’est donc à la découverte de l’histoire de cinq éruptions que vous invite l’itinéraire de visite du “Volcan à Ciel Ouvert”.

Avant son exploitation, le puy de Lemptégy se présentait comme un petit cône strombolien haut de 50 m (sommets à l’altitude 1019), avec un cratère égouulé vers le sud- ouest. En dépit de ces dimensions modestes, l’examen des parois de la carrière révèle une structure complexe. Deux volcans se sont succédé ici il y a 30000 ans environ , Lemptégy 1 et Lemptégy 2 . On présente généralement les volcans de la Chaîne des Puys comme des “édifices monogéniques”, c’est à dire édifiés chacun lors d’une éruption unique (et donc individuellement non susceptibles de se réveiller un jour). Le premier volcan a avorté et s’est disloqué sur place, peut-être sous la poussée du magma qui un peu plus tard a nourri le second.

- Premier cône de scories basaltiques , Lemptégy 1 .

Sur le plancher Est de la carrière, on peut observer les produits d’un épisode strombolien initial (ou Lemptégy 1), dont la composition se situe à la limite des basaltes et des trachybasaltes .

L’emplacement de la cheminée est matérialisé par un culot résistant fait de lave et de scories soudées culminé par deux énormes bombes dont la plus volumineuse a été cubée à 24 m³ soit 60 tonnes. L’exploitation a laissé autour de ce culot une multitude de bombes de grande taille.

Dans les parois Nord et Est de la carrière, les projections du Lemptégy 1 sont séparées des scories noires appartenant au Lemptégy 2 par les lapilli de saupoudrage du puy des Gouttes.

La teinte de ces lapilli est normalement noire. Ici, leur teinte est rouge près de leur base. Ceci implique qu’ils sont tombés sur le Lemptégy 1 encore chaud, et suggère donc une activité sensiblement synchrone des deux volcans, Lemptégy 1 et les Gouttes, qui pouvaient être alimentés en profondeur par le même système de fractures. Leurs laves sont d’ailleurs chimiquement et minéralogiquement identiques.

Cet édifice initial du puy de Lemptégy a été récemment daté à 30000 ans environ par la thermoluminescence des quartz des enclaves de socle profond qui abondent dans ses scories. Cet âge est donc aussi celui du puy des Gouttes.

Le cône du Lemptégy 1 est en outre affecté par une importante fracture



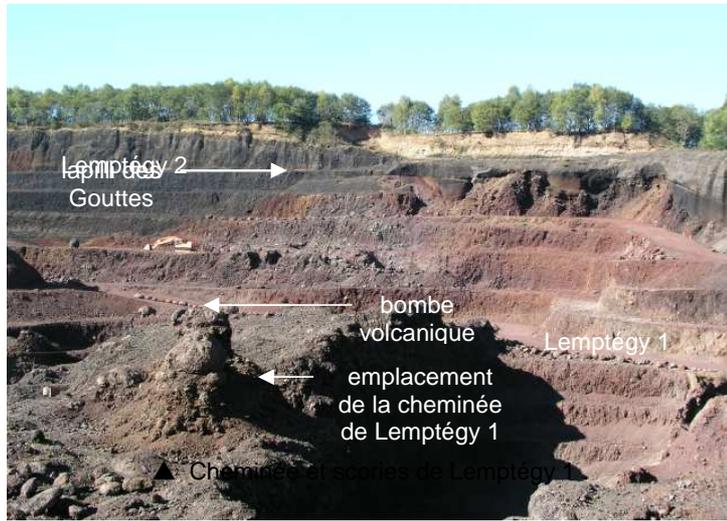
▲ Faille normale.

dont le rejet semble important (plusieurs mètres) dans les parties inférieures de la carrière. Ce décalage diminue au fur et à mesure qu’on monte dans l’empilement des projections. Ce phénomène est particulièrement visible dans les produits de saupoudrage du puy des Gouttes , affectés par une série de petites failles d’extension ou failles normales dont le décalage est de plus en plus faible vers le haut.

Cette extension a pu s’accompagner de quelques secousses sismiques d’intensité non négligeable, dont témoignent les circonvolutions perturbant localement le litage des lapilli du puy des Gouttes, soulignées par des dépôts fumerolliens blanchâtres . Ces perturbations sont appelées des « sismites » .

Ainsi on a la preuve :

- de l’étirement et de la dislocation du cône de Lemptégy 1 pendant son éruption.
- du synchronisme de son activité avec celle du puy des Gouttes.

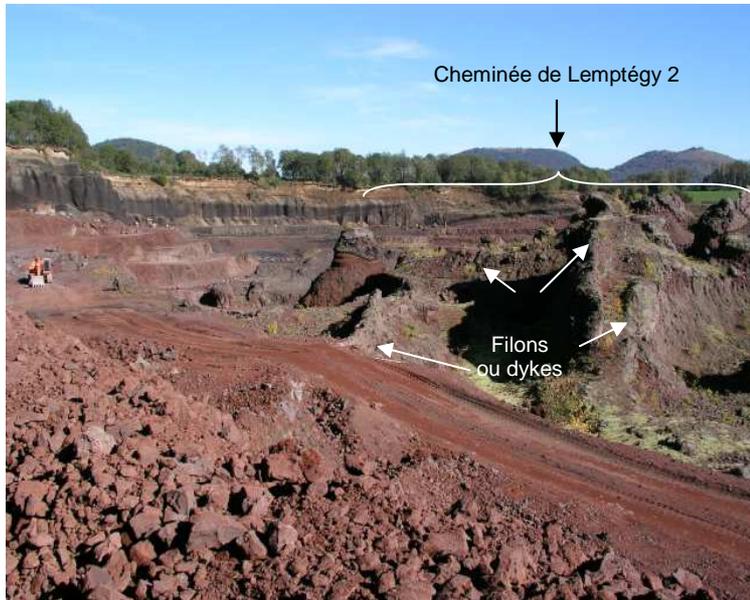


▲ sismites .

- **Second cône trachyandésitique, Lemptégy 2 .**

L'âge de ce cône a été établi à 30000 ans dès 1983, par la thermoluminescence. Il est donc peu différent de l'âge du Lemptégy 1. Compte tenu de la marge d'incertitude de la méthode de datation, il serait impossible de savoir lequel des deux cônes est antérieur, si la superposition des produits observée dans la carrière ne permettait de lever toute ambiguïté quant à la chronologie relative des deux éruptions. La valeur de 30 000 ans n'étant dans les deux cas qu'un bon ordre de grandeur, il pourrait en réalité s'être écoulé 3000 ans entre les deux.

Le puy de Lemptégy 2 résulte d'une éruption de type effusif. Le magma est beaucoup plus évolué que celui de Lemptégy 1: il s'agit d'une trachyandésite proche de la célèbre « pierre de Volvic ».



La cheminée, caractérisée par la soudure des matériaux, a été préservée par l'exploitation. Des "fuites" de lave liquide depuis cette cheminée ont donné des filons qui se sont insinués dans les scories et sont actuellement dégagés : on les appelle des dykes. On voit clairement ces filons sortir radialement autour de la cheminée, puis infléchir leur direction vers le sud-ouest, sans doute en raison de la plus grande pente. C'est probablement la réunion de tous ces filons, qui a alimenté la coulée de Lemptégy 2.

Cette sortie tumultueuse est probablement à l'origine de l'éguelement du cratère du puy de Lemptégy 2 vers le sud-ouest. La coulée de Lemptégy 2 apparaît dans les fouilles de Vulcania comme une " coulée à blocs " typique ou cheyre, très semblable à celle, plus célèbre, du puy de Côme. Son épaisseur totale est d'une vingtaine de mètres, et sa partie supérieure, sur 5 à 10 m.

▲ Cheminée de Lemptégy 2 et ces dykes de trachyandésite

- **Les dépôts de projections issus des volcans voisins.**

Deux dépôts différents se sont succédés pour recouvrir tout ou partiellement les roches de Lemptégy.

- ▶ **Les dépôts éoliens du Puy de Côme.**

Des lapilli scoriacés et des cendres grises finement litées, attribués au puy de Côme (16000 ans) forment sur le cône de Lemptégy 2 un dépôt dont l'épaisseur varie de quelques décimètres à 2 ou 3 m. Ces importantes variations d'épaisseur (accumulations de type dune ou congère), la finesse dominante des produits, leur litage très marqué, et divers effets de courants, sont la signature d'un dépôt en régime de vents violents.

- ▶ **Les dépôts du Puy Chopine**

Les produits de l'éruption du puy Chopine forment au sommet du front de taille de la carrière de Lemptégy une couche continue, claire, épaisse de 50 cm à 3 m.

Le puy Chopine est classiquement décrit comme une aiguille de protrusion trachytique. Une violente phase explosive a ouvert un vaste cratère dans le cône strombolien préexistant du puy des Gouttes.

Mais l'analyse des dépôts permet d'aller plus loin après cette phase explosive, croît un premier dôme (ou une première aiguille). La destruction explosive de ce dôme (ou de cette aiguille) est à l'origine du dépôt sur Lemptégy. Il est essentiellement constitué de trachyte et sa richesse en charbon de bois révèle une température de mise en place plus élevée (au moins 450°) : il s'agit là d'une véritable nuée ardente dont le vecteur était le gaz magmatique.

Il convient à ce sujet de faire une remarque : dans les dépôts du Puy Chopine, on n'observe aucune trace de racines dont la longueur aurait excédé 50 cm. Il n'y avait donc pas d'arbres sur le puy de Lemptégy, mais seulement une végétation herbacée. Les branches et fragments de troncs carbonisés dispersés dans le dépôt proviennent donc de la destruction d'un couvert forestier qui occupait le puy des Gouttes, mais ne s'étendait pas à l'ensemble de la région.

Les fragments carbonisés ont permis un nombre inhabituel de datations par la méthode du ¹⁴C. La moyenne d'âge de douze mesures aboutit à la valeur calibrée 9500 ± 500 ans, c'est-à-dire entre 9000 et 10000 ans décomptés à partir d'aujourd'hui.



▲ Dépôts trachytiques du puy Chopine sur le site de Lemptégy

• **L’exploitation passée de la pouzzolane de Lemptégy.**



Le terme “ pouzzolane ” vient de Pozzuoli (Pouzzoles), port italien de la banlieue de Naples . Cette pouzzolane est un tuf cendreux de composition phonolitique émis lors d’une éruption cataclysmique vieille de 14000 ans . La composition chimique de cette roche lui confère la propriété de s’auto-indurer en présence d’eau c’est la “ réaction pouzzolanique ”, qui correspond à une combinaison silice + alumine + chaux + eau. Ce béton naturel a été utilisé depuis l’Antiquité pour la construction dans la région campanienne (province de Naples) . Par extension, en cimenterie, on nomme “ pouzzolane ” tout matériau dont la silice et l’alumine peuvent , à froid et en présence d’eau , se combiner à la chaux .

◀ **Pouzzolane d’Auvergne prélevée dans le puy de Lemptégy.**

Les scories stromboliennes exploitées localement sous l’appellation commerciale de “ pouzzolane d’Auvergne ” (et du Velay) ne possèdent pas de propriétés pouzzolaniques propres. Elles peuvent toutefois en acquérir, après broyage, par adjonction de chaux.

Les caractéristiques techniques des projections scoriacées sont celles d’un “ granulats léger ” dont la densité du matériau sec tout venant est inférieure à 1. Dans la région Auvergne, ces granulats sont de natures chimique et minéralogique différentes ; ils peuvent être basaltiques, trachybasaltiques ou trachyandésitiques.

L’exploitation de la pouzzolane d’Auvergne nécessite l’ouverture d’une carrière à ciel ouvert pratiquée dans un cône de scories ainsi que la mise en place d’une installation de criblage des matériaux . Pour la sécurité des carrières , il est nécessaire de pratiquer une taille des parois de la carrière par bancs de 5 x 6 mètres disposés en marches d’escalier.

L’extraction se fait grâce à une pelleteuse. Les grosses bombes volcaniques, trop volumineuses, sont laissées de côté . Les roches les plus dures (filons ou dykes, coulées de lave, gros blocs) difficilement dégagables sont laissées en place. Dans la carrière du puy de Lemptégy, l’extraction a ainsi permis de dégager les éléments de la cheminée de deux volcans stromboliens âgés de 30000 ans .



Exploitation en marches d’escalier de la pouzzolane du puy de Lemptégy ▶

Les matériaux “tout venant” sont chargés dans une benne attelée à une cabine tractrice puis sont transportés du front de taille à l’installation de criblage. Ils sont ensuite versés dans une trémie d’alimentation. L’alimentateur vibreur fait avancer les produits sur un scalpeur qui, à l’aide de barres espacées de 80 mm , sépare les produits du premier étage . Le deuxième étage à barreaux espacés de 20 mm fait lui aussi des tris sélectifs en fonction de la taille des granulats.

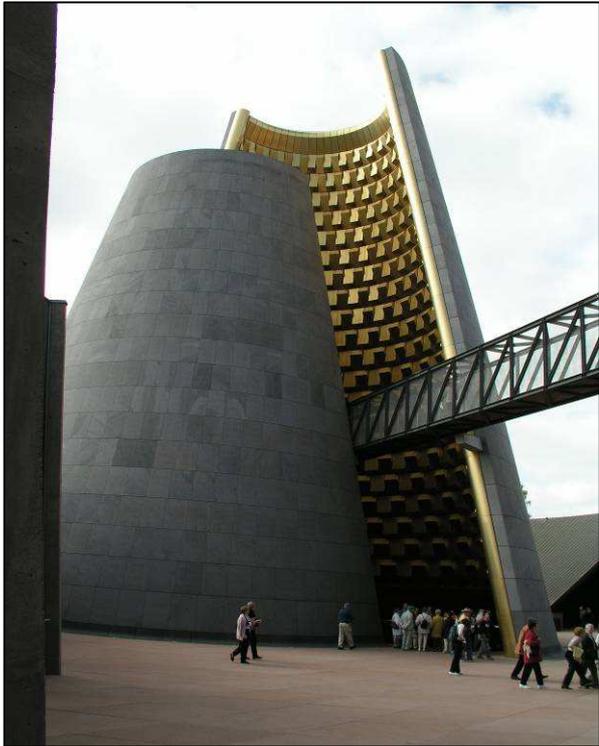
La pouzzolane est utilisée essentiellement dans les travaux publics et le bâtiment, dans l’industrie et dans l’agriculture. En Auvergne, l’hiver, elle sert de graviers pour le sablage des routes verglacées. Dans les travaux publics, elle est utilisée comme matériau de remblai. Additionnée de ciment, elle permet la confection de matériaux réfractaires, de moellons, de béton léger très utiles pour la construction de bâtiments. Elle possède des propriétés intéressantes pour l’isolation thermique et phonique. Dans l’industrie, elle entre dans la fabrication d’argiles à tuiles, de bétons réfractaires à 1000 degrés. Dans l’agriculture, elle sert directement pour le drainage ou comme constituant pour l’amendement physique des sols argileux , la confection de terreaux , la fixation de plantes en conteneurs et les cultures hors sol . Elle peut aussi servir pour la réalisation de terrains de sports, être traitée pour des barbecues à gaz ou électrique, pour la litière à chat, enfin, utilisée en aquariophilie ou comme éléments de décoration des jardins.

Les volcans sont des acteurs majeurs de la tectonique des plaques . Ils façonnent la surface de notre demeure à tous qu’est la planète Terre. Ils sont fascinants mais aussi parfois très dangereux. Mieux les connaître, permettra peut-être un jour de prévoir le danger. La visite du puy de Lemptégy, cratère « grandeur nature » , contribue à cette connaissance des volcans.

Le Parc Européen du Volcanisme « Vulcania » , véritable outil scientifique , pédagogique et ludique pour les enfants , permet de compléter nos connaissances sur le sujet et de replacer le volcanisme d’Auvergne dans son contexte géodynamique à l’échelle de la planète .

Ainsi, au terme de ces deux journées bien occupées, chaque membre de l’association vendéenne de géologie s’en est retourné en terre vendéenne dans la bonne humeur et la tête bien remplie.

■ **Dominique LOIZEAU.**



▲ Le cône très contemporain de Vulcania.



▲ Météorite de la catégorie des achondrites (Exposition à Vulcania).



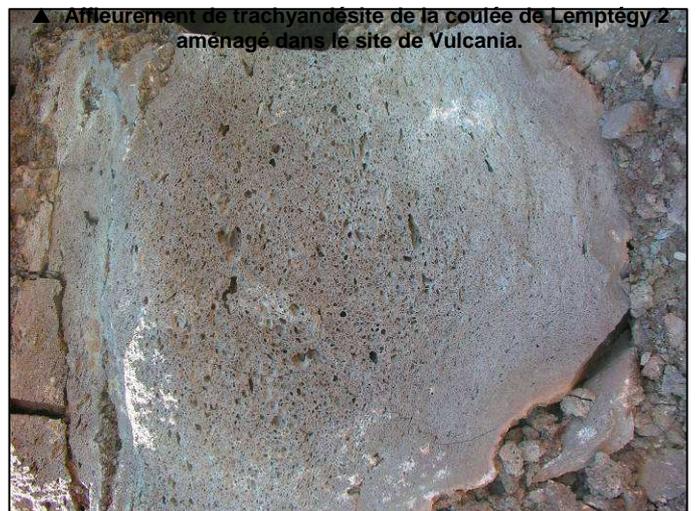
▲ Météorite de la catégorie des sidérites (Exposition à Vulcania).



◀ Météorite (Exposition à Vulcania).



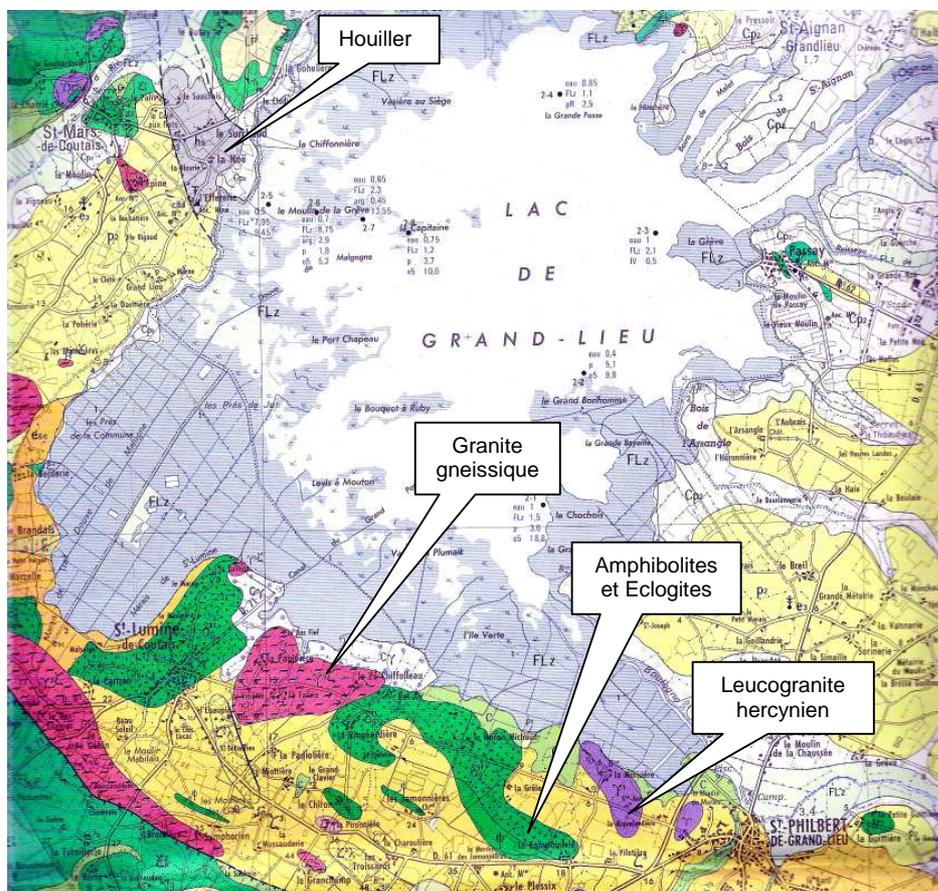
▲ Coupe transversale d'une bombe volcanique montrant les différentes zones de refroidissement.



▲ Affleurement de trachyandésite de la coulée de Lemptégry 2 aménagé dans le site de Vulcania.



▲ Vue sur le Lac de St Philbert de Grand-Lieu



▲ Carte géologique du secteur du Lac de Grand-Lieu

Excursion autour du Lac de Grand-Lieu

Dimanche 28 mars 2004

Cette journée d'excursion autour du Lac de Grand-Lieu, sous la conduite de Louis Arrivé et Gaston Godard, nous a offert quelques jolis points de vue sur le Lac, une passionnante recherche d'échantillons d'éclogite à la Compointrie, l'observation d'un affleurement du sillon houiller vendéen à St Mars du Coutais, plusieurs visites de musées et expositions. En fin d'après-midi, la visite guidée de l'Abbatiale St Philbert permettait d'apprécier l'un des plus vénérables sanctuaires de France de la période préromane.

■ Le Lac de Grand-Lieu

- **Un grand lac peu profond avec une mosaïque de zones humides.**

Le Lac de Grand-Lieu est le plus grand lac naturel de plaine Française l'hiver et l'une des plus belles zones humides d'Europe. Sa superficie est d'environ 3 500 ha et sa profondeur de 0,65 m en moyenne l'été (périmètre d'environ 42 km) contre 6300 ha et un niveau pouvant augmenter de 1,50 m lors des crues d'hiver (périmètre de 64 km).

Le cœur du lac est constitué de 800 ha d'eau vive au-delà desquels s'étalent 1500 ha d'herbiers flottants. Puis on trouve une ceinture de roselières et forêts flottantes ou « levis » reposant sur la vase, parsemée de clairières aquatiques et sillonnées de douves. Enfin, sur 1600 ha, s'étendent des prairies marécageuses inondables traversées par des canaux creusés au XVIII^e siècle pour le drainage. Ces prairies servent en période estivale au pâturage ou à la fauche du foin.

En 1980, le parfumeur Guerlain cède à l'état les 2700 ha du lac lui appartenant (à l'ouest) à la condition qu'ils soient classés en réserve naturelle et gérés par la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN). Plus à l'est, la Fédération des Chasseurs de Loire Atlantique possède et entretient une réserve de 650 ha.

En raison de sa topologie très plate et de l'abondance des ceintures arbustives, le Lac de Grand-Lieu est peu accessible au promeneur. Néanmoins, quelques points de vue permettent son observation : l'observatoire de Passay, le site de Pierres Aiguës à Saint-Aignan et l'observatoire du clocher de Ste Lumine de Clisson.

- **Un lac au centre d'un système hydraulique irriguant l'ensemble du pays de Retz.**

Le lac forme une cuvette peu profonde et presque fermée alimentée par trois rivières :

- l'Ognon (Bassin versant de 25 000 ha),
- la Boulogne et son affluent la Logne qui franchit une cluse à Corcoué sur Logne (bassin versant de 67 000 ha),
- le Tenu, qui se jette dans un diverticule du lac après avoir, lui aussi, franchi une cluse.

Le lac représente un vase d'expansion du système hydraulique en attendant que la rivière l'Acheneau évacue le trop-plein dans la Loire. L'Acheneau, rivière de très faible dénivellation (40 cm pour 40 km de long) possède la particularité de pouvoir couler dans les 2 sens.

• Une géologie liée à un système de failles d'effondrement.

La formation de la cuvette du lac résulte d'une série d'effondrements en « touches de piano » consécutifs d'un jeu de failles orientées SW-NE, au cours de l'ère Tertiaire.

L'analyse de carottages réalisés au niveau du compartiment le plus effondré a révélé une épaisseur de 62 m de sédiments sur le socle hercynien.

Cette couverture sédimentaire est constituée de bas en haut par :

- 30 m de sédiments déposés par le paléofleuve *Yprésis*. La datation de ces sédiments (Yprésien) a été réalisée par l'étude palynologique des argiles noires intercalées dans des cailloutis quartzeux et des sables.
- des calcaires lutétiens plus ou moins coquilliers. Le gisement de Lutétien coquiller de Pierres Aiguës à Saint-Aignan, étudié par J.M. Viaud, est le gisement Lutétien le plus fossilifère de la région.
- des traces de sédiments Redonien (Pliocène inférieur), par endroit, surtout vers la Chevrolière, à l'est du Lac.
- Quelques mètres de sédiments quaternaires constitués de vases, de sables et cailloutis.

Actuellement, le comblement du lac par envasement se poursuit.

• Un patrimoine biologique exceptionnel

Le Lac de Grand Lieu représente un patrimoine biologique exceptionnel par sa grande richesse ornithologique et la végétation originale des zones humides.



On recense au lac de Grand Lieu 33 espèces de mammifères, 30 espèces de poissons, 19 espèces de reptiles et batraciens mais sa faune est surtout remarquable par l'abondante fréquentation des oiseaux (240 espèces d'oiseaux) qui viennent y chercher la tranquillité.

D'un point de vue ornithologique, le lac de Grand Lieu constitue la 2^e richesse nationale après la Camargue. Il est d'un côté réputé pour ses espèces protégées et de l'autre pour ses grandes colonies d'oiseaux. Par ailleurs le lac abrite l'une des plus grandes colonies de Hérons cendrés en Europe (environ 800 couples actuellement), on y retrouve toutes les sortes de hérons existant sur le continent, de nombreuses Grèbes huppées, c'est l'une des plus importantes zones françaises

d'hivernage pour les canards, une escale primordiale pour les Fauvettes aquatiques lors de leur migration, un dortoir pour les étourneaux (le plus grand en France), le Busards des roseaux, la Mouette rieuse, les Goélands cendré et argenté (le plus grand de la région). L'Ibis sacré et le Héron Cendré

Le lac de Grand Lieu accueille parmi sa population animale la Loutre dont c'est l'un des derniers refuges en France. On estime qu'il y en aurait quelques dizaines mais c'est un animal très difficile à recenser, la manière la plus fidèle étant de compter ses empreintes sur la neige ou les trous qu'elle fait dans la glace pour pêcher, mais il faut attendre pour cela que la surface du lac soit entièrement gelée ! La Genette est présente en assez grand nombre ainsi que les Ragondins et Rats musqués moins sympathiques et nuisibles qui y ont été délaissés suite à l'effondrement du marché de la fourrure.

Quatorze espèces de poissons peuplent actuellement les eaux du lac de Grand Lieu, il s'agit d'espèces relativement communes. On y trouve l'Anguille qui constitue presque l'essentiel de la pêche avec le Brochet, le Sandre récemment implanté et plus rare, et le Gardon. Notons également la présence de la Brème, la Carpe, la Perche soleil, le Poisson-chat et le Carassin.

■ L'ancienne mine de charbon de l'Efféterie

Le sillon houiller de Vendée passe au milieu du Lac de Grand-Lieu et aboutit au Nord-Ouest au lieu-dit *l'Efféterie* à Saint Mars Le Coutais.



Les premières recherches sur le gisement de l'Efféterie sont réalisées sous la conduite du Marquis de la Rochejacquelin, vers 1837. En 1848, un puit de 20 m de profondeur est creusé mais il faut attendre 1917 pour assister à une véritable exploitation du charbon. Un puit de 40 m de profondeur avec 2 niveaux de galeries (à - 20 m et - 40 m) permet d'extraire 2 000 tonnes de charbon jusqu'en 1918. En 1921, une nouvelle tentative d'exploitation avec un puit de 21 m de profondeur ne donne rien d'économiquement intéressant. Ce dernier puit restera néanmoins ouvert jusqu'en 1980.

Sur le site de l'Efféterie, nous pouvons examiner quelques échantillons de houiller plus ou moins schisteux ou brèchiques avec des fossiles végétaux.

■ Visite du Musée de l'Association minéralogique de St Philbert de Grand-Lieu



Le musée minéralogique " Raymond Fioleau " présente, dans un espace relativement réduit, de nombreux échantillons de roches et de minéraux et une collection originale de timbres concernant les richesses géologiques de nombreux pays.

Dans ce musée, de très beaux échantillons polis d'éclogite de St Philbert de Bouaine servent de support aux explications de Gaston Godard sur la composition minéralogique et la formation de cette roche métamorphique des zones de subduction.

■ L'éclogite de la Compoirie

Après l'examen de magnifiques échantillons d'éclogite au Musée Raymond Fioleau, les membres de l'association montrent une grande motivation pour rechercher des échantillons d'éclogite dans une vigne du Hameau de la Compoirie.

• Les caractéristiques de l'éclogite de la Compoirie – un échantillon, une histoire

L'éclogite de la Compoirie appartient au complexe métamorphique à Eclogites des Essarts.

Les éclogites de l'unité des Essarts peuvent être considérées comme des reliques d'une vieille croûte océanique métamorphisées lors d'une subduction éo-hercynienne puis intégrées à la chaîne hercynienne.

L'éclogite de la Compoirie est une éclogite magnésienne à disthène.

C'est une roche massive et dure formée de gros cristaux de grenat rouge inclus dans une matrice verdâtre. Le grenat rouge est riche en pyrope (grenat alumineux et non calcique) ;

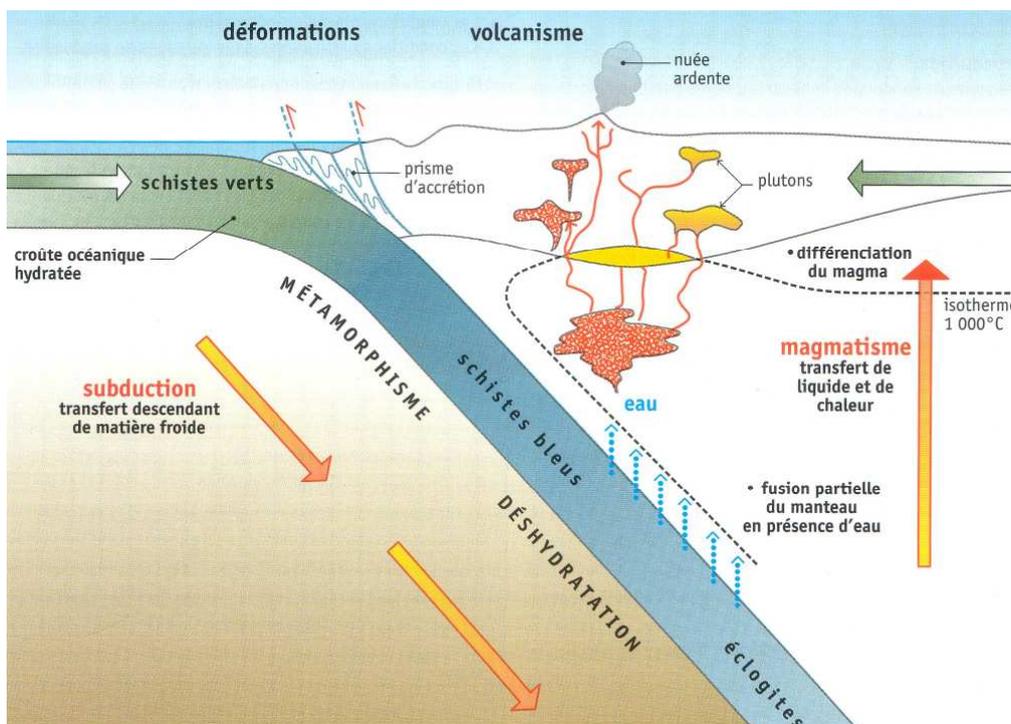
La matrice comprend :

- principalement un clinopyroxène vert : l'omphacite (solution solide de jadéite + diopside + aegyrine) ;
- du disthène (bleuté) partiellement pseudomorphosé (rosé).

Les cristaux de grenat montrent une auréole réactionnelle noire, à l'interface entre grenat et omphacite, correspondant à une amphibole secondaire de rétrogenèse (hornblende verte).

La roche anté-éclogitique était un gabbro amphibolitisé et saussuritisé (plagioclases transformés en épidote et lawsonite par métamorphisme hydrothermal).

• Le contexte géodynamique de la formation des éclogites : la subduction de la croûte océanique hydratée

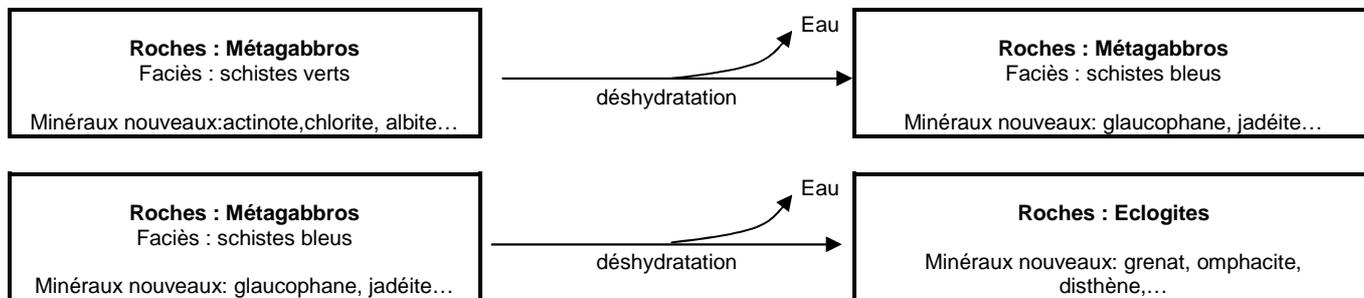


Les éclogites les plus typiques sont des roches qui résultent d'un métamorphisme de haute pression des basaltes et des gabbros de la croûte océanique, dans une zone de subduction.

La croûte océanique qui subit une subduction est une croûte très hydratée : lors de leur histoire océanique, les basaltes et les gabbros qui la constituent ont été transformés par des circulations hydrothermales. Des minéraux verts tels que la chlorite, un minéral très riche en eau, se sont formés donnant à ces roches un faciès particulier, celui des schistes verts.



Lors de la subduction, le métamorphisme de haute pression qui transforme les métagabbros du faciès "schistes verts" en métagabbros du faciès "schistes bleus" puis en éclogites, se caractérise par une déshydratation progressive des roches avec la formation de minéraux anhydres.



L'eau libérée par les roches de la croûte océanique en subduction percole dans les péridotites du manteau et permet leur fusion partielle à l'origine d'un magma. L'eau représente un agent de couplage entre le métamorphisme et le magmatisme d'une zone de subduction.

Ce magma produit dans la zone de subduction engendre des plutons granodioritiques et un volcanisme andésitique de type explosif.

L'éclogite de la Compointrie

L'éclogite de la Compointrie est une éclogite à disthène : elle est composée essentiellement de cristaux centimétriques de grenat noyés dans une matrice verdâtre formée principalement par un pyroxène sodique (l'omphacite) et du disthène



Matrice verdâtre :
Omphacite + disthène

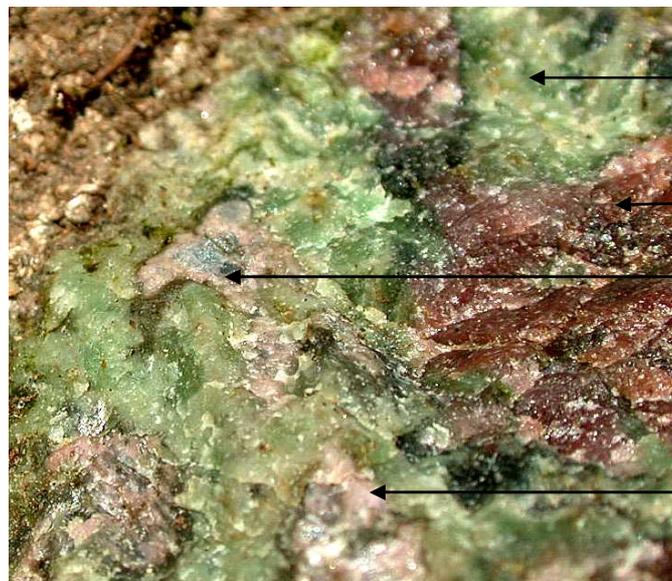
Grenat

▲ Echantillon poli d'éclogite de la Compointrie

Par rétro-métamorphose (suite à une baisse de pression), l'éclogite a subi des transformations secondaires :

- l'omphacite primaire est pseudométamorphosée en un agrégat de petits cristaux (Kélyphite) de clinopyroxène non sodique et de plagioclase.

- le disthène bleuté est remplacé par un assemblage rose à plagioclase et corindon puis, après déshydratation, par de la zoisite.



Omphacite pseudométamorphosée

Grenat

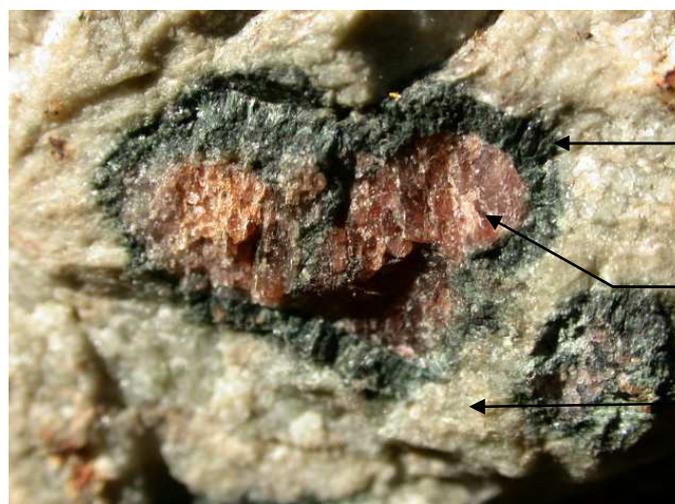
Disthène

Plagioclase et corindon

▲ Examen à la loupe binoculaire d'une éclogite kélyphitisée

La kélyphitisation est suivie d'une rétro-morphose plus poussée avec une hydratation de la roche appelée amphibolitisation.

Elle se traduit par la formation d'une auréole réactionnelle d'amphibole noire ou vert foncé à l'œil nu, autour du grenat, par réaction de celui-ci avec le pyroxène.



Auréole réactionnelle d'une amphibole vert foncé - noire

Grenat

Plagioclase et corindon

▲ Examen à la loupe binoculaire d'une éclogite amphibolitisée.

■ Visite du musée ornithologique Helmut Warzecha

Ce musée a été baptisée officiellement "Musée Helmut Warzecha" en avril 2002, à l'occasion de son 20e anniversaire, en hommage à son créateur, naturaliste passionné. Ce musée présente plus de 200 espèces d'oiseaux nicheurs ou migrateurs ayant pour cadre de vie la réserve naturelle de Grand Lieu. Si difficiles à observer autour du lac, ces oiseaux aujourd'hui protégés pour la plupart, constituent une collection unique.

■ Visite de l'exposition " Chroniques terrestres "



Cette exposition, réalisée par la Maison de la Culture de Loire Atlantique, nous présente, avec pédagogie, plusieurs thèmes géologiques : Histoire de la Planète Terre, les séismes, les volcans, les grandes catégories de roches et de minéraux, les gemmes, des «histoires d'hommes et de pierres».

■ Visite de l'exposition " Yprésis "

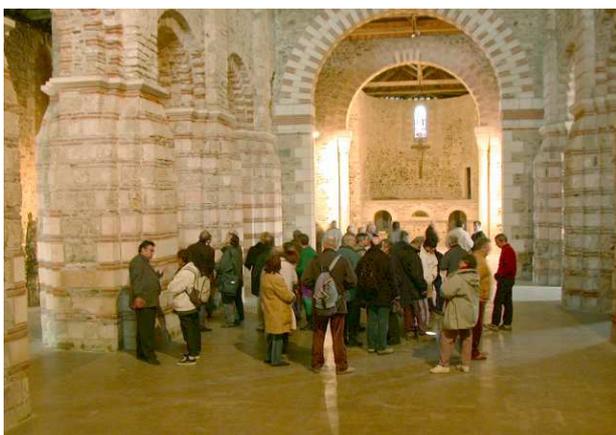


Certains d'entre nous ont revu, avec plaisir, l'exposition sur le paléofleuve Yprésis, à l'office du Tourisme, près de l'Abbatiale.

Cette exposition itinérante, devenue propriété de l'AVG, a été réalisée par La Conservation des Musées de Vendée avec la collaboration d'un comité scientifique : Gaston Godard, Jean-Marc Viaud, Louis Arrivé et Michel Chevalier. Son objectif est de faire connaître au public une découverte géologique récente, celle d'un fleuve disparu. Il y a environ 50 millions d'années, à l'Yprésien (Etage de l'époque Eocène de l'ère Tertiaire), ce fleuve traversait la région d'est en ouest et se répandait en un vaste delta dans

tout le nord-ouest de la Vendée. Cet ancien fleuve aurait disparu lors de la surrection des collines vendéennes qui entravèrent son cours ; il fut plus tard remplacé par la Loire.

■ Visite Guidée de l'Abbatiale St Philbert (IXe siècle)



Cette église classée Monument Historique a été édifée au début du IXe siècle pour protéger les reliques de Saint Philibert (VIIIe siècle) des profanations vikings. Très vite, les guérisons miraculeuses autour du sarcophage mérovingien en font une étape de pèlerinage sur la route de Saint Jacques de Compostelle.

Utilisée comme dépôt sous la révolution, elle fût quelque peu dénaturée en 1870 :c'est ainsi qu'on n'hésita pas à raser les murs, les abaissant de plus de 3 m. Au début du XXe siècle, l'Abbatiale a servi de halle de marché (poulets, lapins, légumes...).Puis des travaux ont été entrepris pour améliorer la présentation de l'édifice qui a été rendu au culte en 1936.

Aujourd'hui des évènements culturels (concerts) la mettent en valeur et elle accueille annuellement plus de 12000 visiteurs.

La nef frappe par son austère majesté. Ses puissants piliers dépourvus de décor, le mariage de la brique et de la pierre, les arcs en damier témoignent d'une architecture préromane. Par endroits, on remarque des pierres romanes en réemploi et, sur les murs latéraux, la ligne blanche de chaux marquant le niveau du sol avant déblaiement.



Le chœur possède une crypte en forme de “confession” avec des ouvertures permettant de découvrir le sarcophage en marbre, du VIIe siècle, qui contenait le corps de Saint Philbert.

Précurseur des grandes églises romanes de pèlerinage, l'Abbatiale Saint Philbert constitue une œuvre de transition entre l'art romain et l'art roman. Son architecture préromane livre de nombreuses informations sur les pratiques architecturales culturelles, religieuses et sociales du Haut Moyen Age.

■ *Jean CHAUVET*

La presqu'île du Chay – La Falaise d'Yves

Dimanche 25 Avril 2004

Guide : Laurent RIGOLLET

Les falaises de la presqu'île du Chay (Angoulins - Charente Maritime) exposent un complexe récifal fossile exceptionnel qui constitue un véritable musée paléoécologique. La falaise d'Yves (plus au sud), sur une hauteur de plus de quinze mètres, présente les magnifiques strates de la dernière grande séquence sédimentaire du Jurassique charentais.

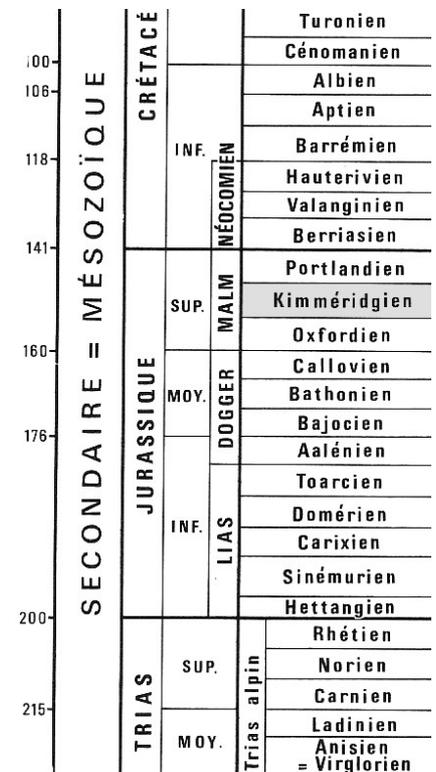
■ Le contexte géologique

Deux grandes transgressions se sont développées dans la région durant l'ère secondaire, au Jurassique puis au Crétacé supérieur. Les formations géologiques de la pointe du Chay et des falaises d'Yves appartiennent au Jurassique supérieur.

Les grandes phases de la sédimentation Jurassique :

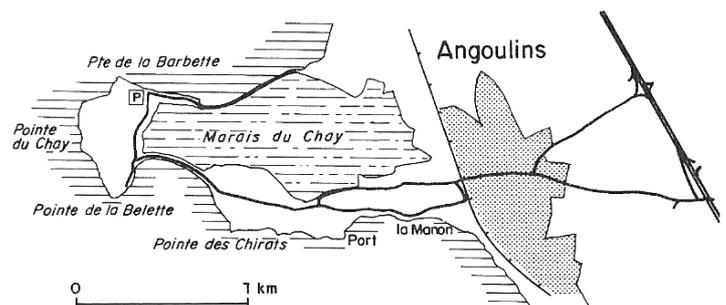
- Au début du jurassique (Lias) : retour progressif de la mer sur une surface post hercynienne nivelée.
- Du Pliensbachien au Bathonien : Installation d'un régime marin franc.
- Du Callovien au Kimméridgien inférieur : accélération de la subsidence et sédimentation particulièrement abondante de marnes et calcaires marneux.
- Au Kimméridgien inférieur : Installation d'un milieu moins profond propice à un environnement périrécifal puis franchement récifal → **Presqu'île du Chay**.
- Du Kimméridgien supérieur au Portlandien : dernière grande séquence sédimentaire Jurassique; sédimentation abondante de calcaires argileux et de marnes au Kimméridgien supérieur → **la falaise d'Yves**.
- Des passées sableuses dans les dépôts carbonatés du Portlandien et des dépôts saumâtres avec des intercalations de gypse au Purbeckien terminent la série Jurassique en Charente et annoncent une émergence complète de la région jusqu'à la transgression du Crétacé supérieur.

Millions d'années



■ La presqu'île du Chay

Il y a 145 millions d'années, durant le Jurassique supérieur, au Kimméridgien, des environnements océaniques peu profonds se développent sur toute la bordure nord aquitaine. De hauts fonds coralliens localisés respectivement dans l'Angoumois et la région rochelaise étaient alors reliés par un arc d'îlots récifaux. Au sud de la Rochelle, les falaises de la presqu'île du Chay présentent une coupe remarquable de ces récifs coralliens fossiles.



▲ La presqu'île du Chay, au sud de la Rochelle.

► Deux épisodes coralliens successifs

Deux épisodes coralliens se succèdent sur la presqu'île du Chay .Le premier doit son extinction à une diminution de la profondeur de l'eau, le second à un envasement probablement lié à un approfondissement du milieu .Cette évolution confère à chaque épisode des caractéristiques écologiques distinctes s'exprimant par des associations faunistiques différenciées.

Leurs traits caractéristiques des deux épisodes coralliens peuvent se résumer comme suit :

►Premier épisode récifal

Surmontant la surface usée du toit des Calcaires à *Montlivaltia*, quelques mètres de calcaires fins plus ou moins argileux montrent l'apparition des premiers biohermes (récifs coralliens) de taille relativement modeste .Puis, le phénomène récifal s'intensifie et engendre des biohermes volumineux constitués en grande partie par des polypiers rameux du genre *Calamophylliopsis*. Des encroûtements calcaires d'origine microbactérienne (trombolites) constituent des masses disposées à la semelle des récifs ou réparties entre les colonies coralliennes. Les trombolites, dont le volume peut atteindre 70% de l'édifice corallien, assurent une cimentation des colonies de polypiers responsable de la structure compacte des biohermes.

Au-dessus des constructions récifales principales, se développent de petits biohermes englobés dans un niveau de calcaires oolitiques et bioclastiques à Nérinées et Dicerias.

Une couche riche en Térébratules (Brachiopodes) puis un hard-ground traduisent une diminution de la bathymétrie et une tendance au relèvement qui achève ce premier épisode récifal.

Le hard-ground apparaît comme une surface usée, oxydée, perforée, couverte de nombreuses huîtres plates.

► Deuxième épisode récifal

Cet épisode débute par une assise métrique de calcaires argileux et de marnes, présentant un développement restreint et localisé de récifs coralliens.

Ensuite, on peut observer une couche calcaire remarquable par l'abondance des Térébratules qu'elle refferme. Cette faune est accompagnée de nombreux Mollusques et Echinodermes .Un hard-ground couvert localement d'huîtres met fin au biofaciès à Térébratules et s'accompagne d'une disparition temporaire de la faune corallienne.

Une assise argileuse décimétrique succède au hard-ground puis se développe une puissante formation formée de Marnes à *Paracenoceras giganteum* et de calcaires à Trichites riches en Ostréidés.

Le niveau supérieur, constitué par des alternances marno-calcaires peu fossilifères, montre à sa base des ripple-marks et au sommet un triple banc repère sur lequel s'appuient les biohermes du second épisode corallien.

Les biohermes très développés sont enveloppés dans un calcaire bioclastique à stratifications irrégulières .Ce faciès est caractérisé par des Echinides et des Crinoïdes (*Cidaris*, *Acrocidaris*, *Pseudocidaris*, *Millericrinus*, *Apiocrinus*) ainsi que d'abondantes *Nanogyra nana*.

Contrairement au premier épisode récifal, le second doit son extinction à un envasement et une augmentation de la profondeur.

La sédimentation se poursuit ensuite avec une quarantaine de mètres de calcaires fins à Nérinées.

■ La falaise d'Yves

La falaise du rocher d'Yves montre une alternance de magnifiques strates de calcaires argileux et de marnes sur une hauteur de 12 à 15 m .Elle témoigne de l'uniformisation des faciès résultant d'une sédimentation dominée par des apports terrigènes sur toute la bordure nord-aquitaine , au Kimméridgien supérieur.

Des assises au sommet de la falaise, on peut distinguer deux zones principales caractérisées par deux espèces d'Ammonites : *Orthaspidoceras lallierianum* et *Orthaspidoceras orthocera*.

► **La zone inférieure à *Orthaspidoceras lallierianum***

Elle présente, sur une hauteur de 6 m environ, une alternance de calcaires argileux gris bleutés et de lits marneux lumachelliques à *Nanogyra virgula*. On y trouve quelques géodes de calcite et des cubes de pyrite disséminés dans la masse. Cet ensemble est caractérisé par la présence de l'ammonite *Orthaspidoceras lallierianum* en assez grande quantité

► **La zone supérieure à *Orthaspidoceras orthocera*.**

Elle montre des calcaires bioclastiques altérés et oxydés, moins argileux que les précédents. Les niveaux lumachelliques deviennent plus rares, les bancs sont bioturbés (terriers, galeries). Il y a apparition de niveaux à laminites (éléments détritiques d'une couche en fines lames ondulées). Les céphalopodes, moins abondants, sont représentés par *Orthaspidoceras orthocera*.

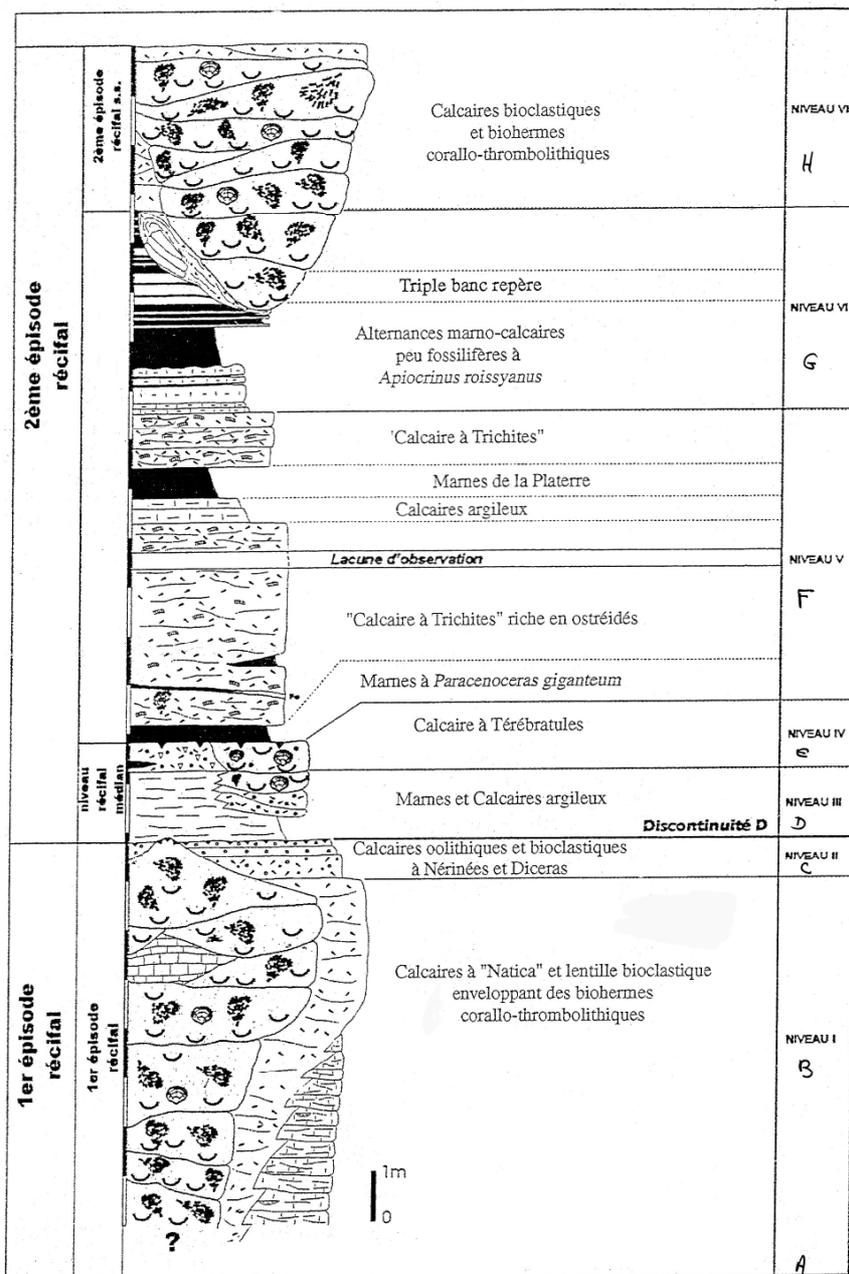
Au niveau de cette falaise, seules les assises inférieures du Kimméridgien supérieur sont représentées à l'affleurement, la transgression cénomaniennne tronquant les niveaux terminaux du Jurassique supérieur.

A la pointe du Rocher, au sommet de la falaise, une lentille sableuse témoigne de la transgression cénomaniennne.

La série argileuse du Kimméridgien supérieur forme le substrat de la baie d'Yves et du marais de Fouras.



▲ La falaise d'Yves



▲ Colonne stratigraphique des falaises de la presqu'île du Chay



▲ Fragment de bioherme

▲ Falaise de la pointe du Chay

▲ Falaise de la pointe du Chay - 2^{ème} épisode récifal

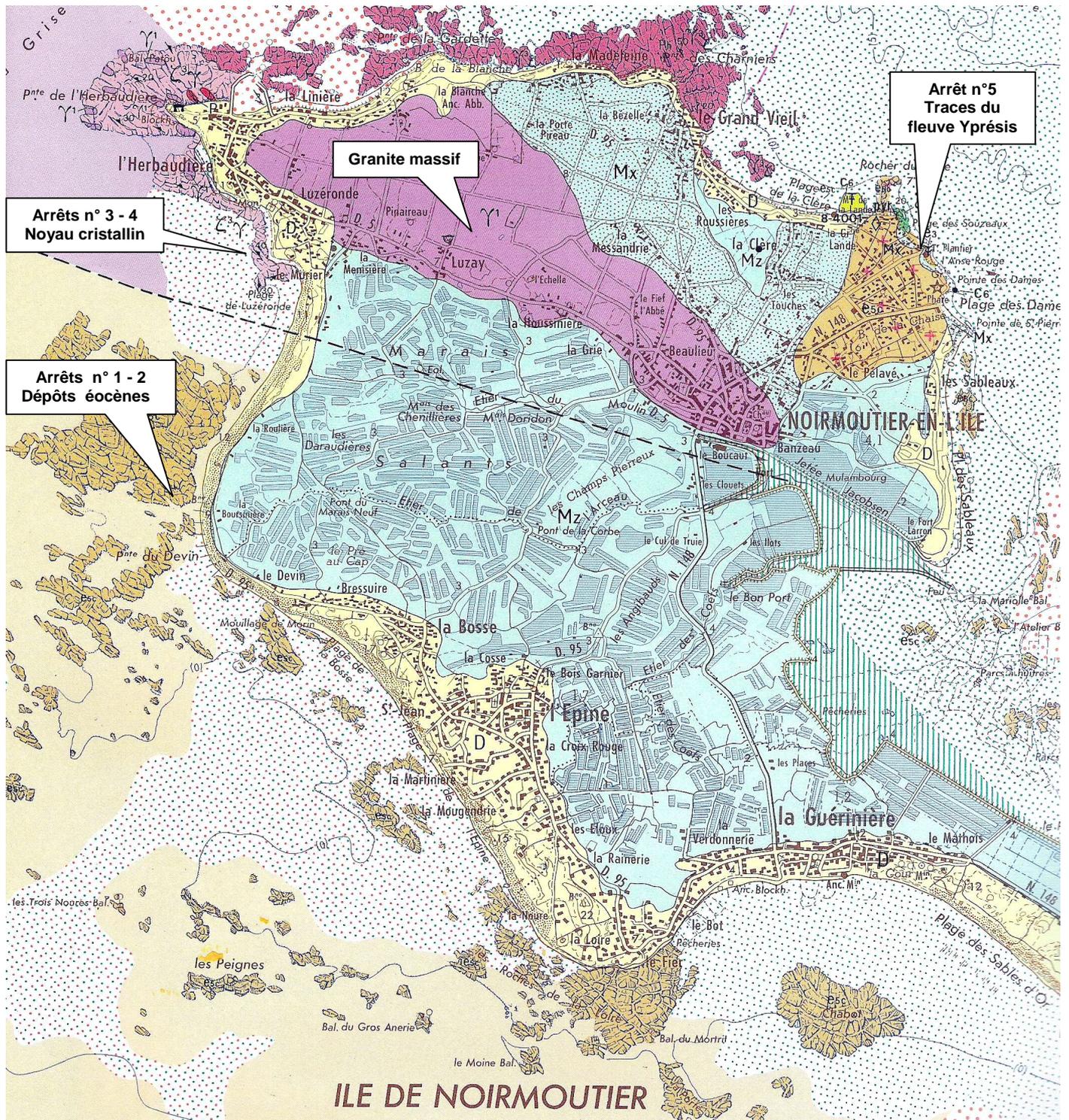
▲ Laurent Rigollet sous un bioherme ▲ Trombolites à la base du récif ▲ Aspects des récifs coralliens fossiles

▲ Hard-ground recouvert d'huîtres fossiles

▲ Térébratules en place

▲ Oursins récoltés par Laurent Rigollet

▲ Christophe montre sa belle récolte de fossiles (Echinodermes, Brachiopodes, Mollusques,...)



▲ Carte géologique de l'île de Noirmoutier - Situation des différents arrêts

La géologie de l'île de Noirmoutier

Dimanche 16 mai 2004

Guide : Louis ARRIVE

L'île de Noirmoutier allongée en direction sud-armoricaine comprend trois domaines:

- le noyau cristallin, de l'Herbaudière à Noirmoutier ;
- les dépôts éocènes comprenant les grès à Sabalites de la Chaize au NE de l'île et les calcaires gréseux à Nummulites qui constituent les platiers horizontaux de la Vendette, des Bœufs, des Peignes, de la Fosse ;
- la longue zone des marais intérieurs, formée par les argiles flandriennes (Bri) constituant le soubassement des marais salants.

■ 1^{er} et 2^{ème} Arrêts: Les Roches de Loire, le Fier, Le Devin: dépôts éocènes.

Le noyau cristallin de Noirmoutier est encadré au Sud-Ouest et au Sud-est par des bancs subhorizontaux de calcaires du Lutétien. Les terrains récents (bri) reposent vraisemblablement sur ces formations. Ces bancs calcaires forment les platiers rocheux que nous avons découverts à marée basse et ils forment un grand nombre d'îlots : roches du Devin, Chaussée des Bœufs, Pointe de la Loire, Plateaux de la Vendette, de la Préoire.

C'est un calcaire jaune clair, dolomitique à grain fin; la roche est tantôt compacte, tantôt poreuse. Elle renferme des grains de quartz en abondance et passe localement à un grès à ciment calcaire. Ce calcaire contient des foraminifères: *Nummulites brongniati*, des mollusques: *Pecten*, *Cytherea*, des oursins: *Nucleolites grignonensis*, *Scutella*

■ 3^{ème} et 4^{ème} Arrêts : La plage de Luzeronde et la pointe de l'Herbaudière :noyau cristallin

La pointe Nord-ouest de l'île de Noirmoutier est constitué de gneiss, traversés par d'innombrables filons de granite et de pegmatite.

A la pointe de l'Herbaudière les bancs de gneiss feuilleté, micacé, alternent avec des bancs à structure grenue riches en grenats. Ces gneiss sont traversés et imprégnés par des lentilles granitiques en chicots aplatis, ce sont soit des filons de granite leucocrate « blanc » soit des filons de pegmatite à cristaux géants de microcline.

A la plage de Luzeronde affleurent des gneiss plissotés à structure grenue ou feuilletée toujours traversés par des masses de granite « blanc » et pegmatite à muscovite.

■ 5^{ème} Arrêt: sur les traces du fleuve Yprésis :

L'après-midi va être consacré aux nombreux dépôts laissés par le fleuve Yprésis.

➤ Les argiles noires de l'Anse rouge:

Ces argiles sont situées sous les grès, à la base de la falaise. La couleur noire de ces argiles est due à leur richesse en matière organique, elles contiennent, d'autre part, une forte proportion de pyrite. Ces argiles ont été retrouvées par forage dans plus d'une cinquantaine de sites de l'ancien delta du fleuve.

Suzanne Durand, Marie Françoise Ollivier-Pierre ont trouvé dans ces argiles des spores et grains de pollens très diversifiés permettant de donner un âge Yprésien à l'ensemble de ces dépôts. Dans les argiles noires à affinité marine on observe la présence de petits foraminifères et de dinoflagellés (véllétaux unicellulaires marins, planctoniques)

► **Les grès et sables.**

Ils sont visibles en affleurement au Nord de l'île. Viviane Borne a découvert par plus de 40 forages dont 25 dans la partie Sud de l'île, des dépôts de grès et sables identiques à ceux observés en affleurement. Ces grès sont épais de quelques mètres au bois de la Chaise, ils atteignent 30 m d'épaisseur au sud où ils s'enfoncent jusqu'à 80 mètres de profondeur.

Au niveau de l'estacade, les rochers montrent des stratifications obliques. Ces strates obliques sont caractéristiques de dépôts dans des chenaux divagants avec forts courants et sont fréquents dans les sédiments deltaïques.

Des empreintes de plantes ont été découvertes dans ces grès par le professeur de botanique Louis Crié à la fin du XIXème siècle, ce sont des traces d'un palmier (*Sabalites andegavensis*) et d'araucaria (*Araucaria Roginei*) ; Plus tard Ed. Bonnet identifia six fruits et une feuille Laurier et une très belle empreinte de fruit de Palmier: *Nipadites Parkinsonis*, voisin de palmiers tropicaux actuels du genre *Nypa* fréquents en Indonésie.

► **Variation du niveau de la mer depuis 4 500 ans.**

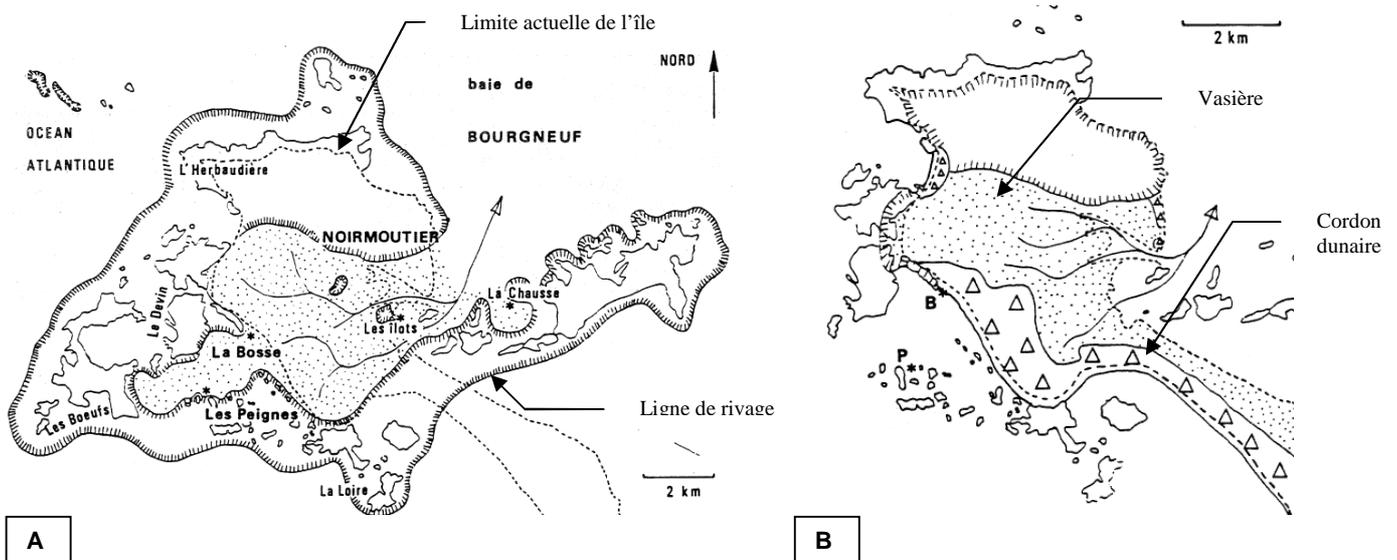
Des travaux récents de Paul Bernier et Yves Gruet ont révélé sous le sable de la plage de la Bosse d'importantes surfaces d'argiles bleuâtres, ces argiles apparaissent dans d'autres zones. Elles contiennent des Scrobiculaires, des Bivalves perforants, des rhizomes de Jonc maritime.. . Les analyses de radiocarbone effectuées sur les coquilles donnent un âge de - 4 200 ans B.P. soit environ 2 800 ans av. J.C.

Ces découvertes confirment l'existence d'une vasière en milieu très abrité, et un niveau marin situé à -5 mètres à partir de la carte marine. L'île avait alors une forme de C ouverte vers l'Est.

Après une longue période, cette vaste zone de vasière va se restreindre du fait de la remontée relative du niveau de la mer. Il va y avoir formation de flèches littorales et de dunes à Luzeronde et entre la Bosse et le Fier qui vont s'étendre peu à peu vers le sud.

A une période qui peut avoir été historique, les dunes de la façade Ouest reculent au niveau qu'elles occupent actuellement et vers le sud.

Pendant toute cette période la vase s'est compactée donnant le «bri ». Les protection du Devin, les digues installées au 18e et 19e siècles vont protéger les marais salants ou gagner de nouvelles terres cultivables: les polders.



▲ Cartes hypothétiques des lignes de rivage lors de la transgression flandrienne : A) vers 4400 BP ; B) Fin du développement des dunes



▲ Etude des calcaires éocènes sur l'estran de la côte Ouest

▲ Nummulite dans le calcaire gréseux



▲ Plage de Luzeronde et Pointe de l'Herbaudière : Gneiss et micaschistes injectés de granite ; ci-dessus, gneiss très micacé à biotite.



▲ Argiles noires de l'Anse rouge

▲ Massif de grès à stratifications obliques près de l'estacade

▲ Empreintes de Palmiers dans les grès

Excursion : Sud du Complexe Métamorphique Les Essarts- Mervent

Sous la conduite de Gaston GODARD

Dimanche 6 juin 2004

■ Présentation du Complexe métamorphique des Essarts – Mervent

Ce complexe géologique, long de 150 km et large de quelques km, s'étend de Ste Pazanne à Mervent selon la direction armoricaine, NO-SE, dans l'alignement de l'axe ibéro-armoricain. Formé de roches d'origine profonde notamment des éclogites et des amphibolites, il constitue l'épine dorsale de la géologie du Massif hercynien vendéen.

Il est délimité par deux grandes failles tardi-hercyniennes :

- au Nord-Est, **la ligne tectonique post-stéphanienne (= le Sillon Houiller de Vendée)**, jalonnée par les terrains du Houiller observés précédemment par l'AVG à *l'Efféterie, Chantonnay, Faymoreau, Epagne, St Laurs*.
- Au Sud-Ouest, **la ligne tectonique Sainte Pazanne – Mervent**. Cette faille est visible dans la carrière de l'Orbric (arrêt n° ❶) et aussi à la Petite Vallée, près de Ste Cécile.

Ce complexe se ferme au Nord-Ouest, aux environs de Port-Saint Père, à la suite de la jonction des deux failles. Dans la région de Chantonnay, au Sud-est, les deux failles sont distantes d'une quinzaine de mètres seulement.

Il comporte trois unités métamorphiques distinctes :

1. L'unité à éclogites des Essarts.

Ce domaine est constitué fondamentalement d'éclogites, d'amphibolites et de gneiss encaissants.

- **Les éclogites** ont des caractères géochimiques de roches d'une croûte océanique. Elles résultent d'un métamorphisme de haute pression (17 kBars à 50 km de profondeur) de gabbros lors de la subduction de la plaque ibérique probablement à l'Ordovicien. Lors de la collision de la chaîne de montagnes hercynienne, les formations éclogitiques ont été dilacérées dans les terrains encaissants du complexe. Les éclogites ont été observées lors d'excursions précédentes à la **carrière de La Gerbaudière** et à **La Compointrie**.
- **Les amphibolites** résultent de la rétro-morphose des éclogites lorsqu'elles remontent vers la surface suite à la formation de la chaîne de collision.
- **Les gneiss encaissants** sont d'anciennes migmatites et d'anciens granites métamorphisés et déformés. Une partie de ces gneiss a conservé la mémoire de deux épisodes métamorphiques lors de deux cycles orogéniques distincts pré-hercynien et hercynien. Ils pourraient appartenir à une croûte continentale ancienne entraînée dans la même subduction éo-hercynienne que les éclogites d'origine océanique. Ces gneiss ont été observés lors d'une excursion précédente à la **Ruffelière** et à **Grezy** près des **Essarts**. Eclogites, amphibolites et gneiss encaissants ont été mélangés lors de la collision des anciennes croûtes océanique et continentale à grande profondeur.

2. L'unité de l'orthogneiss de Chantonnay-Mervent.

L'orthogneiss est un métagranite c'est-à-dire un granite métamorphisé et déformé. Il ne présente pas de traces de métamorphisme de haute pression comme l'unité précédente. Cette unité se juxtapose seulement au domaine à éclogites. Il sera observé à *St Cyr des Gâts* (arrêt n° ②) au cours de cette excursion.

3. L'unité épizonale de Roc-Cervelle.

Elle comporte essentiellement des micaschistes à chlorite qui résultent d'un métamorphisme banal à faible profondeur. Ils seront observés au cours de cette excursion près de *Mervent* (arrêt n° ④).

Des similitudes avec la région du Bas-Limousin.

L'unité des éclogites de St Yrieix est équivalente à celle des Essarts. Elle présente une auréole de métamorphisme qui chevauche des micaschistes semblables à ceux de l'unité de Roc Cervelle. La trilogie « Éclogites, orthogneiss, micaschistes » se retrouve dans le Bas-Limousin.

Ces similitudes permettent à Gaston Godard d'envisager l'hypothèse suivante : Le « copeau » du complexe métamorphique des Essarts est un morceau du Limousin translaté sur 200 à 300 km par le jeu dextre des failles liées au serrage hercynien. Ce « copeau » de la chaîne hercynienne a été coincé entre les deux grandes failles à la fin de l'histoire de la chaîne hercynienne, au carbonifère supérieur.

■ Présentation de trois formations typiques au SO du complexe métamorphique des Essarts.

Ces trois formations adjacentes s'étendent sur le flanc Sud-ouest de la ligne tectonique Ste Pazanne-Mervent.

1. Unité de Saint Martin des Noyers

Cette unité géologique forme une bande qui s'étend avec quelques discontinuités, du Moulin d'Albert jusqu'à Ste Pazanne. De composition hétérogène, elle est dominée par les amphibolites. Ces roches résultent d'un métamorphisme à moyennes pressions (7 à 8 kbars) et températures (500 à 700 °C) de roches volcaniques. Elles sont formées essentiellement par des cristaux d'amphibole et des plagioclases plus ou moins abondants. L'archétype de ces amphibolites peut être observé à la *carrière de Pont Charron*.

Cette unité comprend également :

- des gneiss à amphibole (*carrière de St Hilaire du Vouhis*)
- des schistes à amphibole et stilpnomélane (Phyllosilicate brunâtre)
- des roches sans amphibole.

Ce domaine ne présente pas de reliques éclogitiques malgré une composition chimique autorisant une transformation en éclogite. Les conditions de pression et de température du métamorphisme n'ont pas été suffisamment importantes.

Les amphibolites et roches associées seront observées dans les *carrières de l'Orbrie* (arrêt n° ①) et du *Moulin d'Albert* (arrêt n° ⑤)

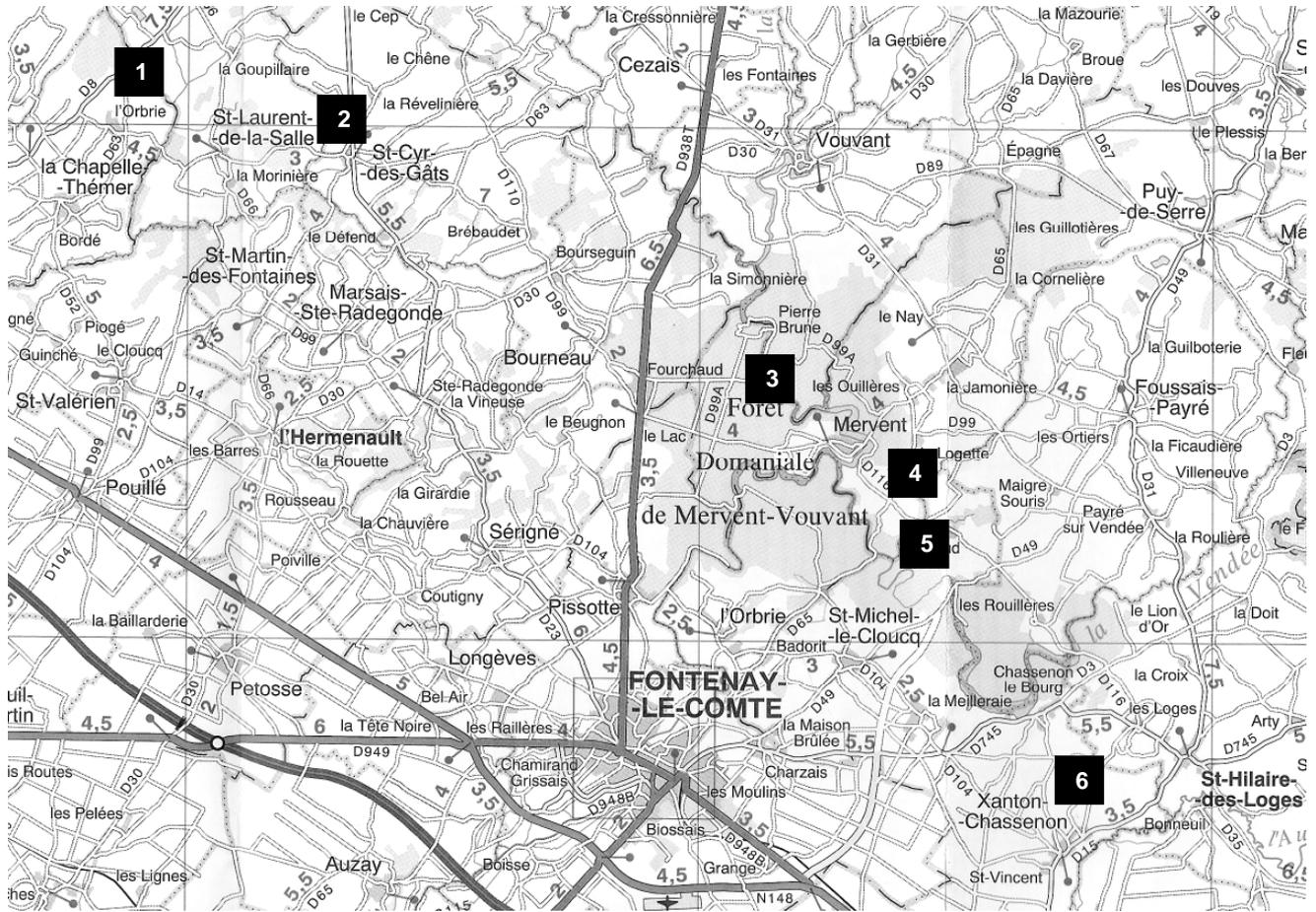
2. Ceinture d'orthogneiss

Sur le flanc Sud-Ouest de l'unité de St Martin des Noyers, s'étend une ceinture d'orthogneiss. Ces métagranites peuvent être bien observés dans la *carrière des Airables* près de St Sulpice le Verdon et au niveau de la tranchée du chemin de fer à *l'Angle* près de Chantonnay. Le *barrage de Mervent* est assis sur ces orthogneiss. Des apophyses de ces métagranites étaient intrusives dans les micaschistes du Bas-Bocage. Elles ont été étirées par le cisaillement dextre lié au serrage hercynien.

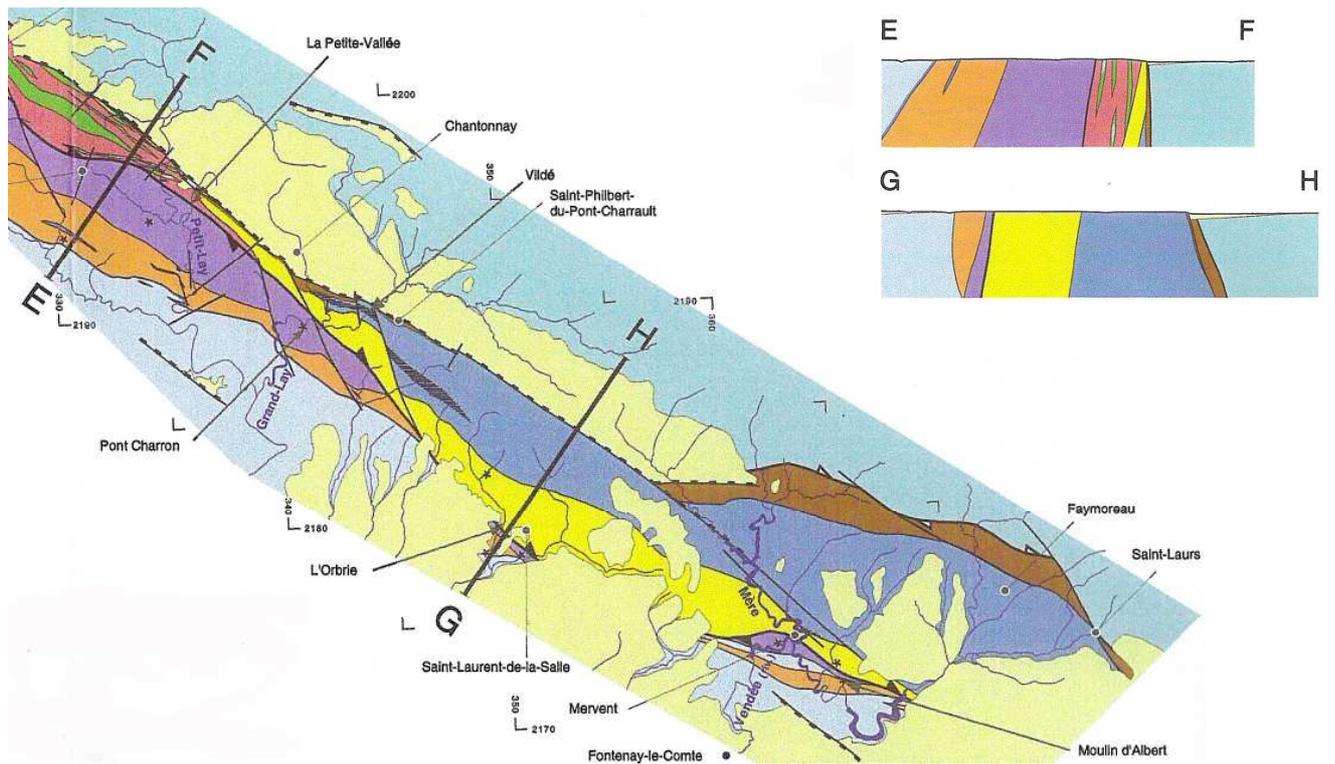
Dans cette ceinture d'orthogneiss on trouve également des métacornéennes et des schistes tachetés témoignant d'un métamorphisme de contact.

3. Micaschistes du Bas-Bocage (Domaine Ouest Vendéen)

Les micaschistes du Bas-Bocage sont des formations métasédimentaires marines du paléozoïque inférieur datées par des phanites et quelques fossiles (graptolites essentiellement).



▲ Localisation des différents arrêts de l'excursion

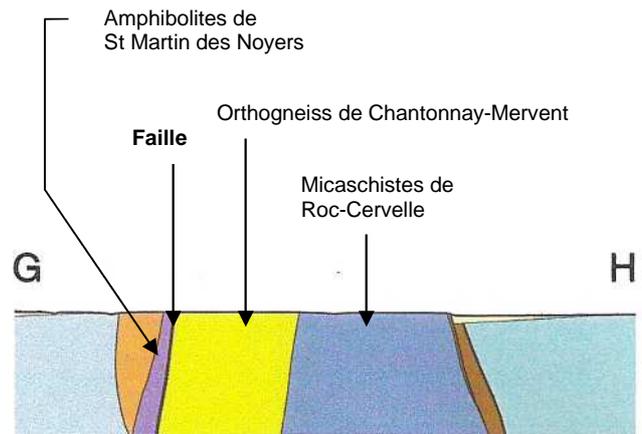
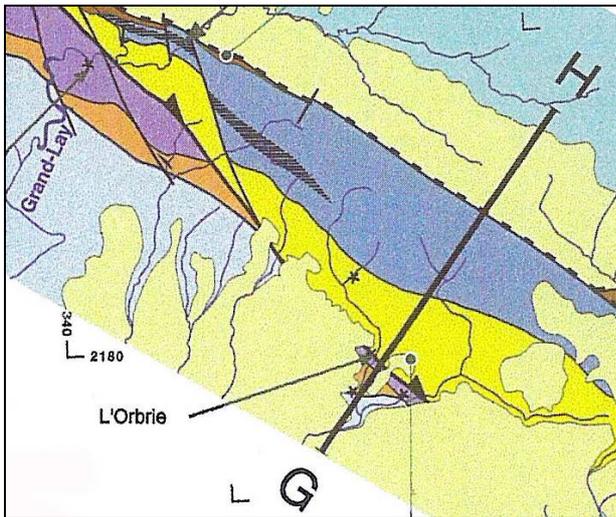


▲ Carte et coupes géologiques du sud du complexe métamorphique des Essarts-Mervent

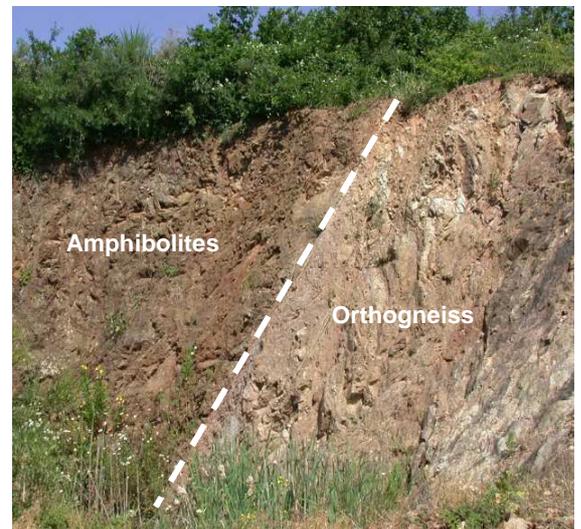
■ 1^{er} arrêt : Carrière du village de l'Orbrie (Près de St Laurent de la Salle)

Faille de Ste Pazanne-Mervent entre les amphibolites de St Martin des Noyers et l'orthogneiss de Chantonnay-Mervent

Le front de la carrière montre une coupe à travers la ligne tectonique Sainte Pazanne – Mervent. Elle met ici en contact l'orthogneiss de Chantonnay-Mervent (à gauche) et les amphibolites de l'unité de Saint Martin-des-Noyers (à droite). La ligne de contact est une faille particulièrement nette mais les deux roches sont fortement mylonitisées (sur 200 à 300 m de large), c'est-à-dire broyées sous l'effet des fortes contraintes développées dans la zone faillée.



▲ Situation cartographique de la carrière du village de l'Orbrie



▲ Carrière de l'Orbrie



▲ Amphibolite et orthogneiss mylonitisés



▲ Orthogneiss de l'Orbrie



▲ Orthogneiss de St Cyr des Gâts

■ 2^e arrêt : St Cyr des Gâts - Orthogneiss de Chantonay-Mervent

Sur les bords de la route reliant Saint Laurent de la Salle à St Cyr des Gâts, près de cette dernière localité, l'orthogneiss de Chantonay-Mervent affleure en de nombreux endroits.

Etant situé en dehors de la zone de broyage observée à l'Orbrie, cet orthogneiss montre une composition minéralogique et une structure caractéristique d'un métagranite. On peut reconnaître des grands cristaux de feldspath potassique, minéral du granite le plus résistant lors des déformations. Ce feldspath est typiquement un ancien orthose transformé en microcline. Certains cristaux feldspathiques montrent des formes automorphes avec la macle de Carlsbad caractéristique, bien visible en faisant miroiter l'échantillon à la lumière.

Sur certains affleurements, on peut parfaitement distinguer la foliation et la linéation de l'orthogneiss.



▲ Affleurement de gneiss et moulin près de St Cyr des Gâts



▲ Echantillon d'orthogneiss de Chantonay-Mervent

■ 3^e arrêt : Mervent – vue sur le lac et la confluence de la Vendée et de la Mère.



La Mère traverse l'orthogneiss de Mervent avant la confluence avec la Vendée. La faille vue à l'Orbrie est en contre bas de notre site d'observation. Nous sommes installés sur l'unité des micaschistes de Roc-Cervelle. A droite et en face, la forêt de Mervent est installée sur les amphibolites de St Martin du Noyers. L'orthogneiss de Mervent forme l'éperon rocheux entre la Mère et la Vendée.

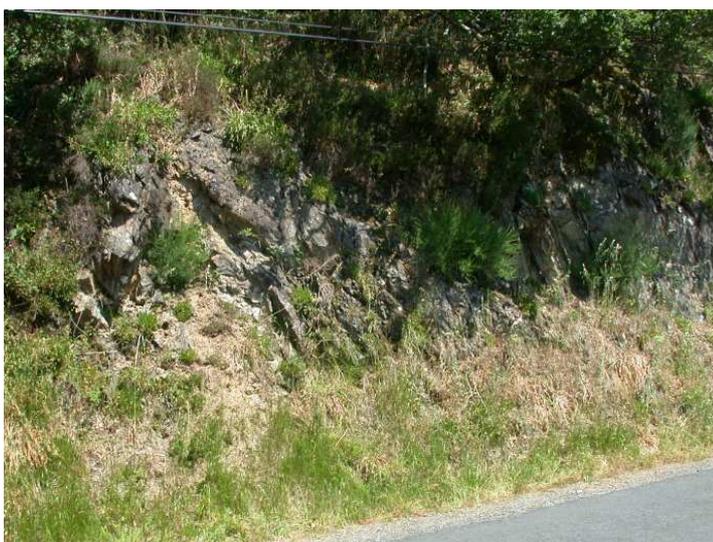
■ 4^e arrêt : Mervent – Affleurement de micaschistes de Roc-Cervelle.

En bordure d’une petite route (D 116 ?), nous pouvons observer deux affleurements de micaschistes de l’unité de Roc-Cervelle. Ce sont des micaschistes à chlorite résultant d’un métamorphisme banal et peu profond.

Voisins des orthogneiss de Chantonnay-Mervent, ils s’étendent vers le nord jusqu’au sillon houiller. Ils contiennent des filons de dolérites et de métadolérites.

Les contacts peu visibles, tectonisés entre les micaschistes et les orthogneiss n’ont pas permis d’établir des relations entre ces roches.

De très beaux affleurements des micaschistes de Roc-Cervelle se situent à *Vildé*, dans la vallée du Grand Lay, près de Chantonnay.

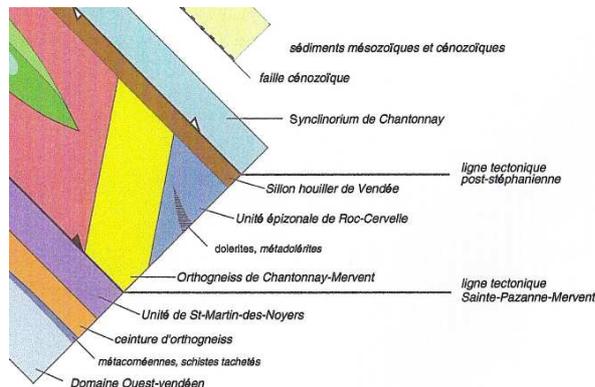
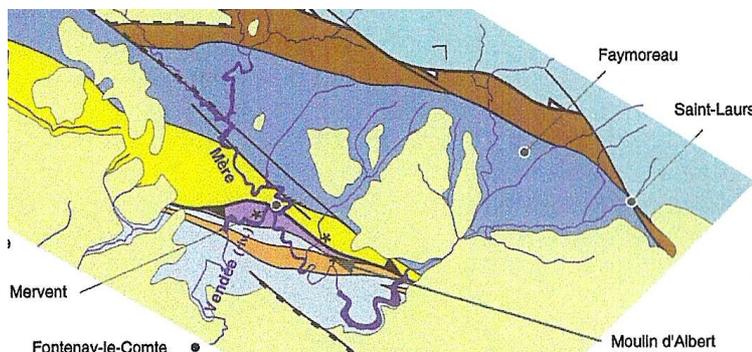


▲ Affleurement de micaschistes de Roc-Cervelle



▲ Echantillon de micaschiste

■ 5^e arrêt : Carrière du Moulin d’Albert.



▲ Carte géologique du sud-ouest du complexe des Essarts-Mervent

Située en dehors du complexe métamorphique des Essarts-Mervent, au sud-ouest de la ligne tectonique Sainte-Pazanne-Mervent, cette carrière nous montre deux faciès principaux:

-un faciès de roches verdâtres de l'unité de St martin des Noyers :

- o amphibolites ; certaines amphibolites contiennent de beaux cristaux de pyrite et de l'épidote ;
- o schistes à amphibole ;
- o gneiss à amphibole.

- un faciès de roches sans amphibole appartenant à la ceinture d'orthogneiss adjacente à l'unité de St-Martin-des-Noyers :

- o orthogneiss principalement, différents de ceux de Chantonay-Mervent, avec des passées de micaschistes.
- o paragneiss peut-être.



▲ La carrière du Moulin d'Albert



▲ Echantillons d'amphibolite



▲ Orthogneiss

■ 6^e arrêt : Xanthon Chassenon – Bordure du Toarcien.

Ce dernier arrêt se situe en bordure de la couverture sédimentaire du bassin aquitain formée de calcaires toarciens sur une épaisseur d'environ 6 à 8 m.

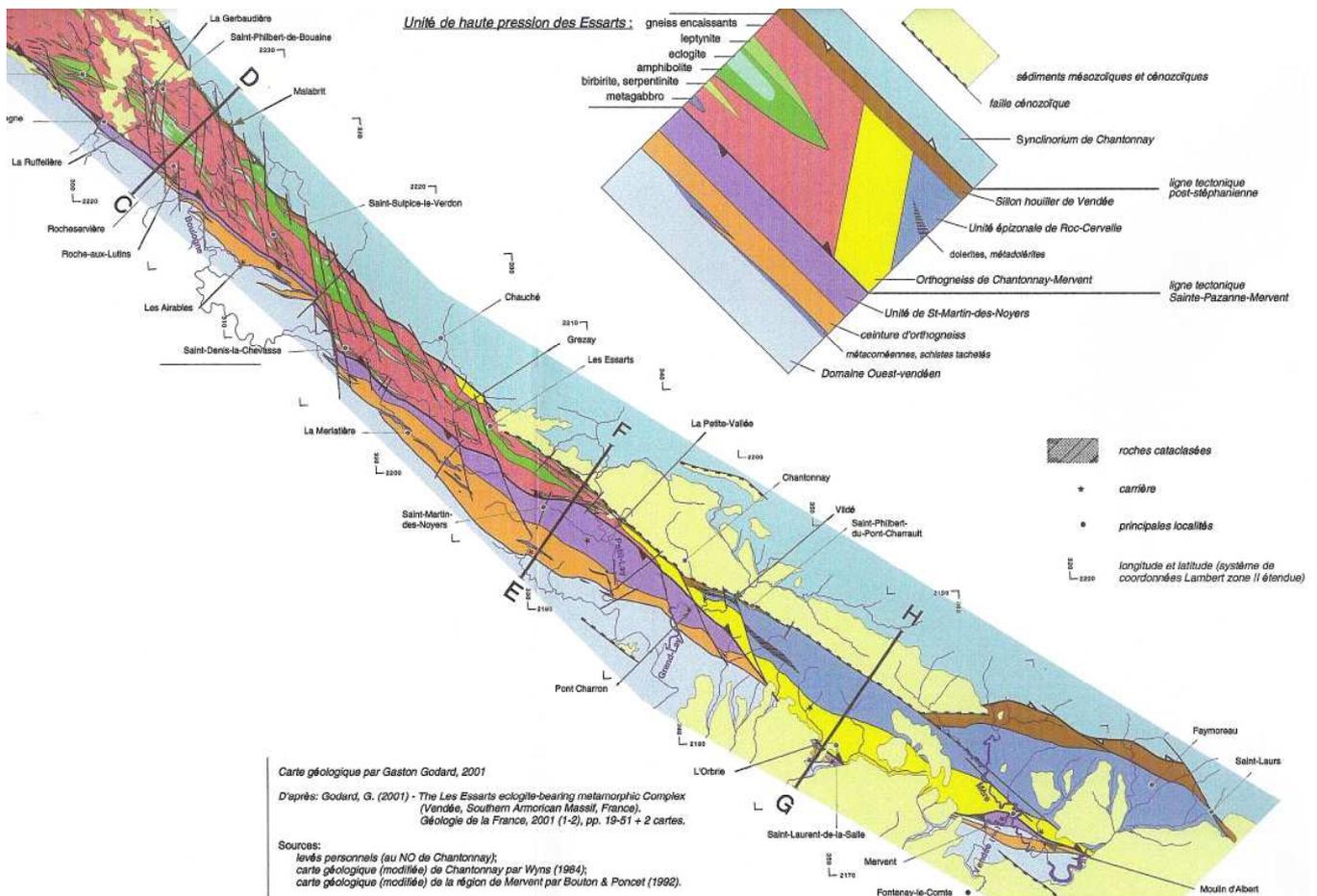
Dans l'une des deux anciennes carrières de ce site, une partie d'un squelette d'Ichtyosaure (Épine dorsale, côtes, fragment de la tête) fût découverte au sein de niveaux argileux surmontant les bancs calcaires.

Un champ voisin récemment labouré nous livre de nombreuses Ammonites, dont *Hildoceras bifrons*. L'étude des différentes Ammonites permet de situer les terrains à la base du Toarcien.

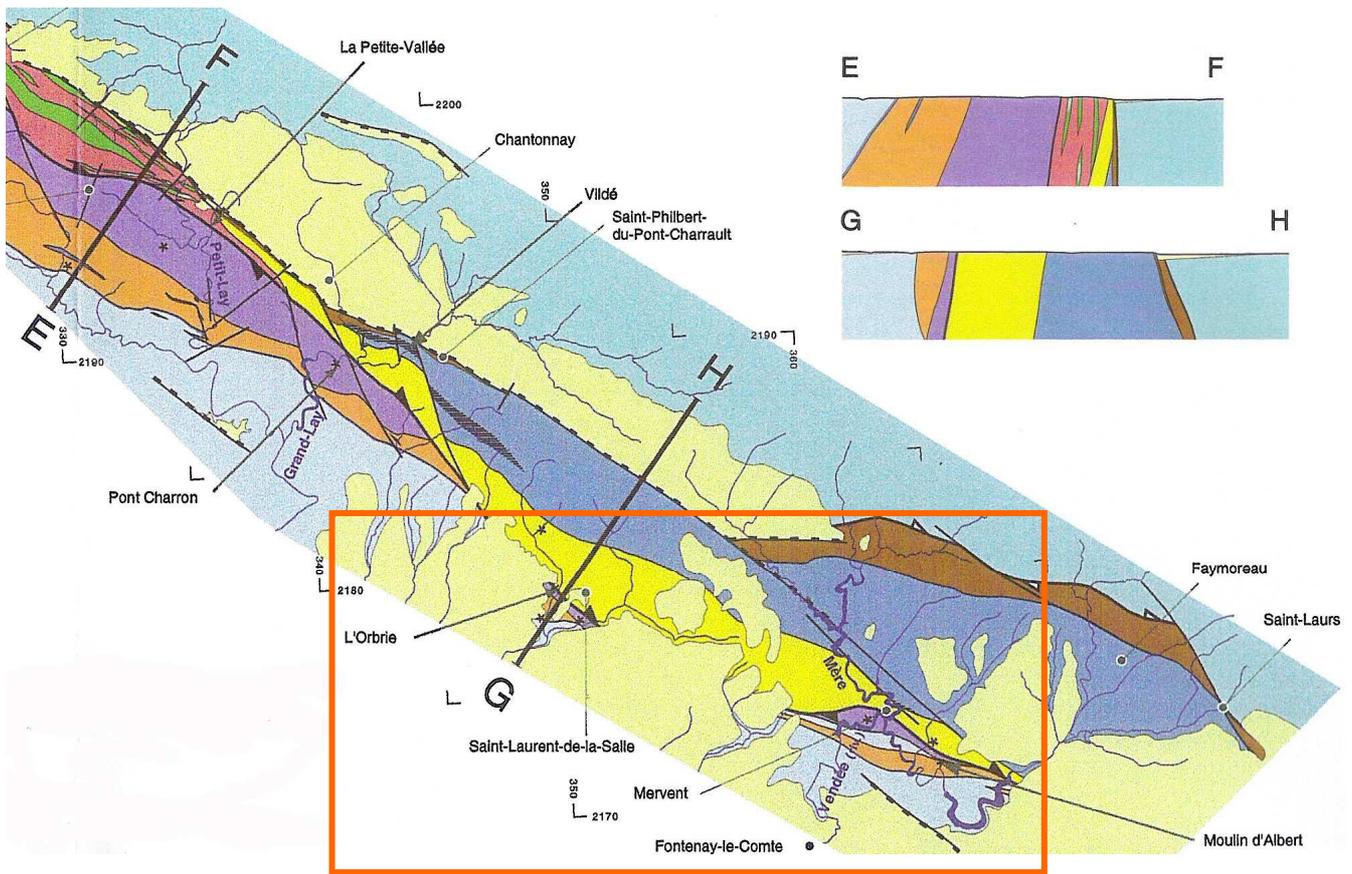
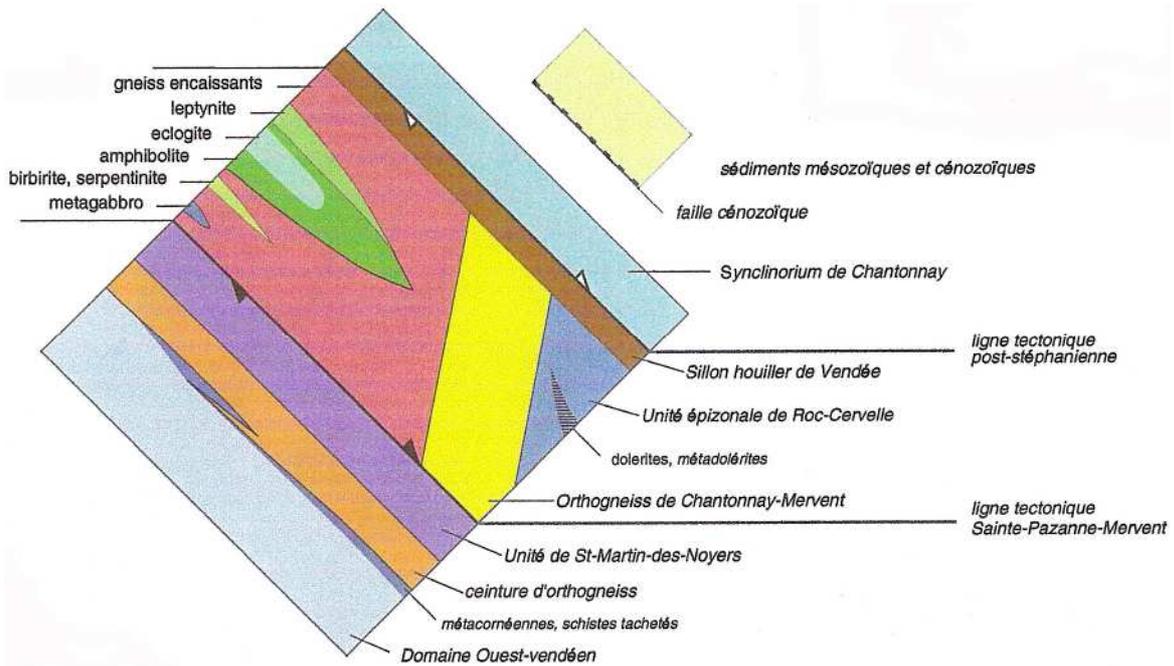
La base du Toarcien est également marquée par niveaux d'hydroxydes de fer connus à La Vergne des loges et historiquement aux Roulières, au cœur du méandre de la Vendée.



▲ Echantillons d'Ammonites du Toarcien



▲ Carte géologique du Complexe métamorphique des Essarts-Mervent



▲ Cadre géologique de l'excursion au sud du Complexe métamorphique des Essarts-Mervent

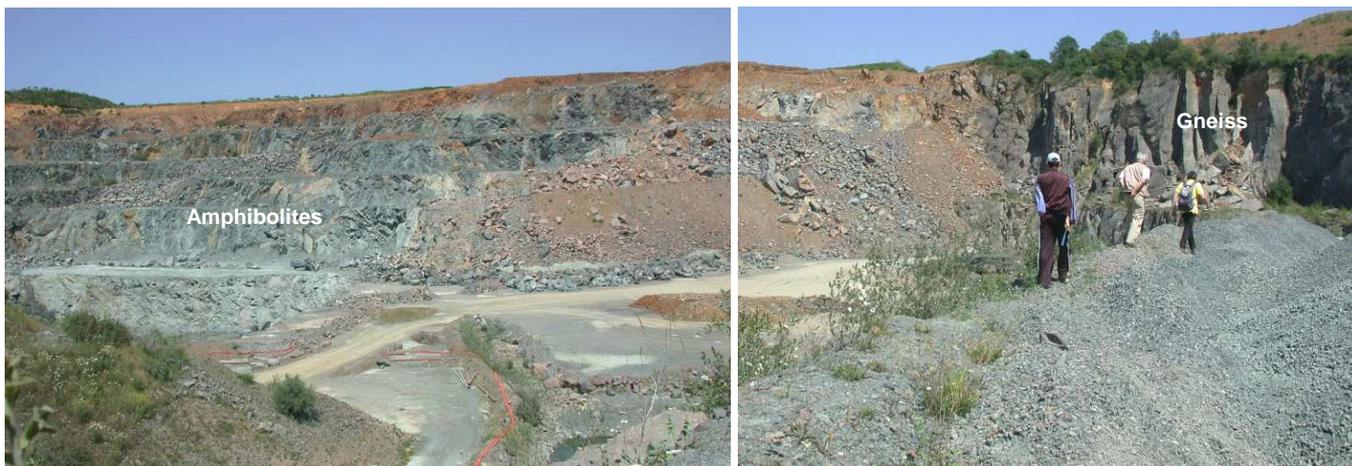
(Extrait de la carte de G.Godard)

-un faciès de roches verdâtres de l'unité de St martin des Noyers :

- o amphibolites ; certaines amphibolites contiennent de beaux cristaux de pyrite et de l'épidote ;
- o schistes à amphibole ;
- o gneiss à amphibole.

- un faciès de roches sans amphibole appartenant à la ceinture d'orthogneiss adjacente à l'unité de St-Martin-des-Noyers :

- o orthogneiss principalement, différents de ceux de Chantonay-Mervent, avec des passées de micaschistes.
- o paragneiss peut-être.



▲ La carrière du Moulin d'Albert

■ 6^e arrêt : Xanthon Chassenon – Bordure du Toarcien.

Ce dernier arrêt se situe en bordure de la couverture sédimentaire du bassin aquitain formée de calcaires toarciens sur une épaisseur d'environ 6 à 8 m.

Dans l'une des deux anciennes carrières de ce site, une partie d'un squelette d'Ichtyosaure (Épine dorsale, côtes, fragment de la tête) fût découverte au sein de niveaux argileux surmontant les bancs calcaires.

Un champ voisin récemment labouré nous livre de nombreuses Ammonites, dont *Hildoceras bifrons*. L'étude des différentes Ammonites permet de situer les terrains à la base du Toarcien.

La base du Toarcien est également marquée par niveaux d'hydroxydes de fer connus à La Vergne des loges et historiquement aux Roulières, au cœur du méandre de la Vendée.



▲ Echantillons d'Ammonites du Toarcien

■ Jean CHAUVET

La série métamorphique de la Chaume, Les Sables d'Olonne

26 septembre 2004

Guide : Louis ARRIVE

La série métamorphique de Sauveterre aux Sables d'Olonne comprend du Nord au Sud les schistes de Sauveterre, une épaisse formation de micaschistes, de micaschistes quartzitiques, des gneiss ocellés ou méta-arkoses, des leptynites et des migmatites coupés d'intrusions granitiques et des orthogneiss.

L'excursion s'est déroulée dans le massif des orthogneiss, dans les leptynites et migmatites et les intrusions granitiques, en nous attachant particulièrement aux filons d'aplite et de pegmatite. Le préfixe ortho indique que ce gneiss provient d'une ancienne roche éruptive (un granite), par opposition à para (paragneiss) qui indique une origine sédimentaire. Cet orthogneiss est analogue à celui de l'Ile d'Yeu et est daté de - 615 millions d'années.

Le massif granitique du Puits de l'Enfer et de la Chaume a été daté de -315 millions d'années, sa mise en place caractérise le paroxysme métamorphique des séries schisteuses des Sables d'Olonne. L'orthogneiss de la Chaume réapparaît à l'Est, décalé d'environ 2 Kms, au lac de Tranchet, et à la Pointe de la Péruse, par un décrochement dextre, les zones ayant subi ce décrochement ont été en partie broyées et représentent actuellement les ports de pêche et de plaisance des Sables d'Olonne, les marais d'Olonne.

De nombreux filons d'aplite et de pegmatite sont fréquents dans les plans de foliation de l'orthogneiss. L'aplite est un granite à grains fins en général de couleur claire, la pegmatite au contraire présente des cristaux de grande taille de plusieurs centimètres à parfois plus du mètre. Le feldspath est souvent le microcline, la pegmatite contient localement, de beaux cristaux de mica blanc (muscovite) et des cristaux de tourmaline...

Les pegmatites

Les pegmatites sont des roches silicatées à grands cristaux, certains éléments qui n'existent qu'en infime proportion dans les granites vont se retrouver, dans les pegmatites sous forme de gemmes exploitables. Les variations de composition chimique vont entraîner des variations minéralogiques importantes.

Les pegmatites contiennent 2 minéraux essentiels: le quartz et le microcline rose accompagné d'albite. A ces minéraux s'en ajoutent beaucoup d'autres dont l'abondance varie en fonction d'une zonalité allant de - 11 Kms à -1,5 km : biotite, béryl, grenat, tourmaline, topaze, apatite spodumène...

Les magmas se forment entre - 400 et - 50 km de profondeur, les magmas basaltiques peu visqueux remontent facilement à la surface de la Terre (volcans). Les magmas granitiques très visqueux remontent lentement et cristallisent progressivement. Lorsqu'ils sont trop visqueux pour continuer leur ascension, ils cristallisent pour former un pluton et expulsent vers le haut des liquides silicatés riches en fluides dissous (H₂O , CO₂ , F, Cl...) et en éléments spécifiques: lithium, béryllium, rubidium, uranium...)La cristallisation de ces reliquats magmatiques, issus des magmas granitiques va former les **pegmatites**.

Les pegmatites à gros cristaux se rencontrent dans des massifs granitiques anciens ayant achevé leur cristallisation à grande profondeur et à une vitesse de refroidissement lente, les filons ont alors une grande extension, on les rencontre dans les chaînes anciennes: Brésil, Afrique, Madagascar ,entre -2000 et - 600 millions d'années.

L'érosion, surtout dans les régions où les phénomènes d'altération sont intenses (latérites) a pu faire disparaître d'énormes épaisseurs de roches concentrant dans les couches superficielles les espèces minérales les plus résistantes: quartz, béryl, tourmaline...

Le grand minéralogiste français **Alfred Lacroix (1863-1948)**, classait les pegmatites en 2 parties: les pegmatites potassiques et les pegmatites sodo-lithiques.

► 1° Les pegmatites potassiques.

Les éléments essentiels sont le quartz et le microcline blanc, rosé ou rougeâtre parfois vert (amazonite), les minéraux secondaires: biotite, muscovite, tourmaline noire, almandin, apatite...

Les minéraux accessoires des pegmatites potassiques sont très nombreux :

Or, bismuth, graphite

Oxydes : rutile, ilménite, ilménorutile, zircon, mal acon, uranothorite, hématite, magnétite, gahnite, cymophane, colombite, euxénite, betafite, psilomenane, corindon, pleonaste... .

Silicates accessoires: topaze, allanite (orthite), scapolite, sphène...

Phosphates: apatite, monazite, xenotime, autunite

Sulfures : pyrite, pyrrotite, chalcopyrite, chalcosine, molybdénite, bismuthinite, cosalite.

Pyromorphite, malachite, sillimanite, cyanite (disthène)...

Quelques exemples :

France : Des pegmatites à béryl pierreux, tourmaline noire, grenat almandin, se rencontrent près d'Autun, dans le Puy-de-Dôme, dans la région nantaise, aux Sables d'Olonne.

Limousin: Les pegmatites les plus riches sont celles de la Vilate et de Pont de Barost, elles contiennent: béryl, spessartine, columbite, malacon, apatite, wolframite, triplite, triphyllite, heterosite.

Norvège, Suède, Finlande :

Les pegmatites scandinaves peuvent être comparées à celles de Madagascar, elles contiennent des cortèges de minéraux accessoires extrêmement importants.

Brésil: comme à Madagascar les phénomènes latéritiques sont intenses et permettent une extraction plus facile de très beaux minéraux: tourmalines, béryls aux couleurs très variées, topaze, tryphane, grenats, amazonite, quartz fumés, améthystes, phénacite...

► 2° Les Pegmatites sodo-lithiques

Elles sont caractérisées par l'abondance de l'albite associée au microcline et par la fréquence de minéraux manganésifères plutôt que ferrifères, les micas sont souvent absents sauf la lépidolite. Le quartz est gris ou fumé, jamais rose. .

Elles se rencontrent le plus souvent à la périphérie des massifs granitiques, elles sont moins riches en silice, plus riches en feldspaths.

Les tourmalines très abondantes présentent des couleurs extrêmement variées : rouge vif (rubellite), rose, vert bleu, vert, violet, bleu pâle, bleu foncé, tous les tons de jaune, gris perle, polychrome...

Les tourmalines ferrifères noires, sont rarement associées aux autres tourmalines.

Les béryls présentent toute la gamme de composition depuis le béryl commun jusqu'aux variétés roses (morganite), vertes (émeraude), bleues (aigue-marine), jaunes (héliodore), rouge (bixbite), dorés, incolores (goshenite) Le seul grenat observé est la spessartine, jaune orangé ou brun rouge.

Minéraux accessoires : le triphane, la rhodizite, l'apatite souvent associée au béryl rose, l'euxénite.

Quelques exemples :

En Loire-Atlantique près d'Orvault des filons de pegmatite contiennent de la tourmaline noire, verte, rose, bleue, du béryl, de la muscovite jaune.

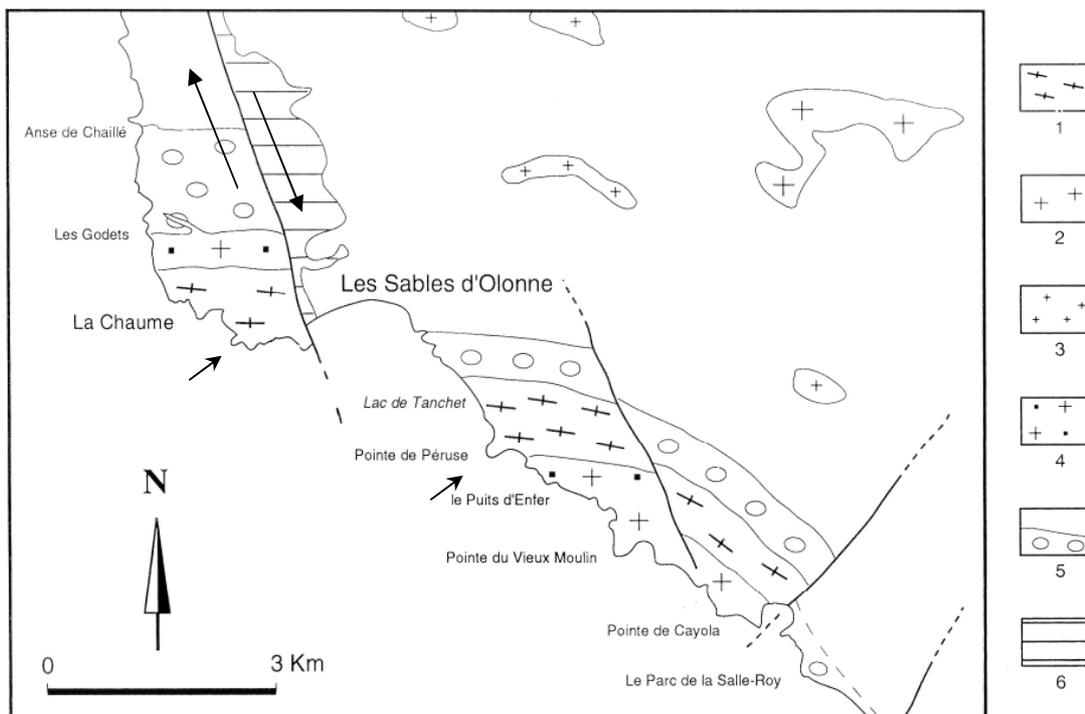
Dans le Tarn: Au Clap, près de Castelnau de Brassac des filons de pegmatite traversant les gneiss contiennent de la tourmaline bleu-vert, des cristaux de béryl, de l'apatite violette, de la lépidolite.

En Limousin : près d'Ambazac (excursion du 10 juin 2001), des filons de pegmatite contiennent de la lépidolite, du béryl.

■ Louis ARRIVE

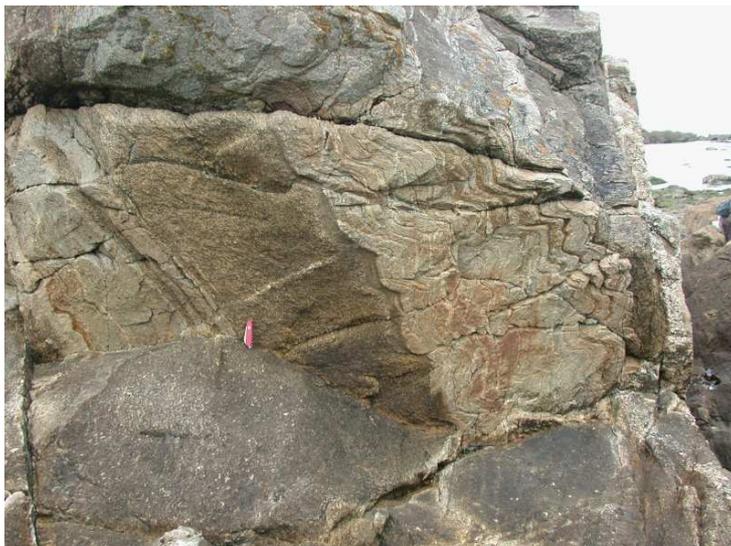


▲ Photographie aérienne de la région des sables



▲ Carte géologique simplifiée du secteur de la Chaume et des Sables d'Olonne

Légende : 1) Orthogneiss ; 2) Granite d'Olonne ; 3) Microgranite ; 4) Granite rose orienté ;
5) Schistes et méta-arkoses ; 6) Lias transgressif.



▲ Gneiss plissés de la Chaume



▲ Rapports complexes entre les filons de pegmatite, d'aplite et les gneiss



▲ Pegmatite avec ses macrocristaux de muscovite, d'orthose et de quartz.

La réduction du fer dans un bas-fourneau

Samedi 16 et dimanche 17 octobre.

Claire KÖNIG

Introduction

Cet article relate la fabrication d'un bas fourneau et la réduction de fer chez Joseph et Suzette Giraudeau sous la conduite de Jean-Claude Leblanc, chercheur en paléosidérurgie, associé à l'UMR 5608, CNRS, UTAH, Université de Toulouse II - Le Mirail .

A cette occasion l'AVG avait invité les préhistoriens de Vendée à nous rejoindre.

Il n'est pas commun de commencer par les remerciements et c'est pourtant ce que je vais faire !

Merci à notre président Louis Arrivé pour son idée de faire un bas fourneau dans le cadre de l'association et pour tout le travail de mise en place que ça occasionne. Il n'a pas manqué de donner du retentissement à cette expérience en invitant la presse à cette manifestation.

Merci aussi à Joseph et Suzette Giraudeau pour l'accueil chaleureux : matériel, café, tarte aux pommes et bonne humeur tout au long de ces 3 jours que nous avons passé chez eux..

Merci enfin à Jean-Claude Leblanc et à sa compagne Catherine Ferrier, enseignant-chercheur à l'Université de Bordeaux, de nous avoir consacré tout leur week-end, nous avons eu beaucoup de plaisir à faire leur connaissance. Il nous a donné les instructions pour construire le four le samedi, expliqué et conduit la réduction le dimanche. Sa démarche de chercheur est dictée par les deux principaux objectifs que voici :

- 1.- Essayer d'utiliser les produits locaux, argiles et minerais, et les méthodes historiques pour essayer d'obtenir les mêmes « restes » que ceux trouvés par les archéologues (voir à ce propos le paragraphe sur Lastours)
- 2.- Transmettre le savoir pour que ces techniques anciennes ne se perdent pas, il s'agit, en effet, pour les techniques aussi, d'un patrimoine artisanal dont l'essentiel est en voie de disparition dans beaucoup de domaines.

Pour une lecture plus facile de l'expérience j'ai séparé les étapes selon le plan que voici :

- 01 Introduction
- 02 Matériel
- 03 Rappel historique
- 04 Rappel de chimie
- 05 Le minerai
- 06 Les briques
- 07 Le four
- 08 La réduction
- 09 Le fer obtenu
- 10 Lastours- Aude.
- 11 Bibliographie

J'ai aussi fait un certains nombre de croquis pour faciliter la compréhension, de la construction du four en particulier.

Permettez moi de souhaiter que ceci vous permette de lire avec aisance le compte-rendu de cette expérience qui m'a enthousiasmée !

■ Matériel :

Attention préparation sur 1 semaine au moins - voir tuyères....

- Argile de la carrière de Gillaizeau à la Bretaudière, 85310 Chaillé sous les Ormeaux.. En tout environ 450 kg, soit une dizaine de grosses poubelles.
- Arrosoirs : 2-3
- Balais : 1
- Balance pour peser le minerai concassé - par kilo donc une balance de ménage va très bien.
- Barre en fer de diamètre 5-6 mm et 1m long environ pour nettoyer la tuyère .
- Barre en fer à béton de 12 ou 15 mm de diamètre et de 1,5 m à 2 de long pour intervenir dans le four.
- Barres en fer ou supports pour les soufflets - barre carrée de section 5 mm, de longueur environ 1m et pliées à l'équerre aux deux extrémités pour former un U très large - 2 pièces : une dont le U fait 50 cm de long, l'autre dont le U fait 80 cm de long au moins.
- Bidon étalonné à 8 litres pour faire 1 kg de charbon de bois à chaque prise. On peut prendre un seau et le marquer.
- Bois : environ 1/2 stère pour griller le minerai et quelques bûches ¼ de stère maximum pour faire les premiers feux . On peut aussi faire son charbon de bois soi-même. Il faut 3½ stères de bois pour 1000 litres de charbon de bois pour 250 kg de fer. Choisir du chêne pour son pouvoir calorifique, mais il oxyde trop, et aussi du pin pour sa richesse en silice qui favorise la fusion des scories et évite la ré-oxydation du fer, mais lui ne chauffe pas assez !
- Brouette : 1
- Bûches de bois vert - construction du fourneau - diamètre 5-6 cm et de 50 cm de long.
- Cailloux plats et assez gros pour servir de « table » de concassage pour le minerai.
- Charbon de bois : 200 litres pas trop gros ou le casser un peu si nécessaire sur du plastique (pollution par la poussière de béton). Fournisseur : Callegari 17130 Courpignac. Il faudrait le tamiser pour ne pas prendre tout ce qui est plus petit que 1 cm qui brûlerait trop vite, ferait monter la température et accélérer le four au détriment de la réduction.
- Crochet en fer pour démonter les briques de l'ouverture de l'alandier : prendre un bon fer à béton et en courber une extrémité.
- Couteaux pas dommage pour démouler les briques : 2-3
- Eau
- Feuilles de plastique noir, 3 x 4 m environ, pour couvrir le minerai, éviter de le poser sur le béton...
- Fil à couper - fil de pêche ou fil de fer - pour couper les briques crues
- Foin ou paille coupé assez petit - pas de longues tiges - pour ne pas gêner les mouleurs.
- Gabarit cylindrique en pvc ou gros carton verni de 25 cm de diamètre extérieur pour la cheminée. Attention, il ne doit pas coller à l'argile !!!
- Gants de jardin et gants en caoutchouc pour les dames....
- Hache : 1
- Limonite (minerai de fer) de la Ferrière : pour en avoir une soixantaine de kg après grillage, disons 120 kg.
- Masses ou gros marteaux : 4-5 pour concasser le minerai
- Mesure étalonnée dans laquelle on peut mettre 2 kg de minerai à chaque prise, la densité n'a aucune importance ici. Soit environ 1½litre à 2 litres.
- Moules en bois - 4 côtés - avec charnières - solides - fabriqués d'après un paquet de sucre et que l'on peut fermer par un crochet - solide aussi - : 5 ou 6 pièces.
- Papier journal, quelques feuilles pour allumer le feu.
- Pelles : 2-3
- Pincen en fer, grosses - 80 cm à 1m - de forgeron ou de potier pour sortir le massiot
- Pioche : 1
- Piquets de clôture :2 ou 3 pour concasser l'argile si nécessaire à utiliser la tête en bas.
- Piquets de diamètre 3-5 cm et longueur 60 cm pour fixer les soufflets : 2 pièces.
- Poubelles noires en plastique : 75 litres ?, cannelées avec poignées - une dizaine, mais on peut faire avec moins si on a une remorque pour l'argile et un endroit de stockage abrité.
- Restes de scories - pour une prochaine réduction - d'une précédente réduction pour servir de fondant si le minerai ne contient pas assez de silice : piler et mélanger avec le minerai de fer - 10 kg de scories broyées et 50 de minerai
- refaire des prises de 2 kg comme indiqué dans le protocole..
- Sable : environ 50 litres

- Seaux : 2-3 pour le sable
- Soufflets 2 de 20 à 25 litres de capacité environ - volume utile d'une soufflée env. 15 litres - avec attaches en cuir et ouverture d'aspiration -clapet - à 3 fois le diamètre de soufflage, c'est à dire assez en arrière sur le soufflet pour ne pas aspirer les gaz du four. Ces clapets seront d'ailleurs positionnés sous le soufflet - et non dessus - lors de la mise en place.
- Tamis à mailles de 1 cm environ pour le minerai.
- Truelles : 2-3
- Tuyau pvc de 40 cm de long et 40 mm de diamètre pour faire les tuyères.
- Tuyères : « maçonner » 4-5 cm d'épaisseur d'argile sur les tubes en pvc et laisser sécher soigneusement sans fracture (donc pas trop chaud et à l'ombre) pendant 1 semaine.

■ Temps :

- ½ journée pour chercher les matériaux à 3 personnes.
- ½ pour chercher et préparer le matériel à 3 personnes.
- ½ pour griller le minerai.
- Quelques heures pour le concasser et le trier à 3 personnes.
- 1 jour pour faire les briques et préparer les tuyères à plusieurs personnes , 1 semaine avant.
- 1 journée pour faire le four à 3 personnes.
- 1 journée pour le feu à 3 personnes.
- ½ journée maximum pour ranger... à 3 personnes.

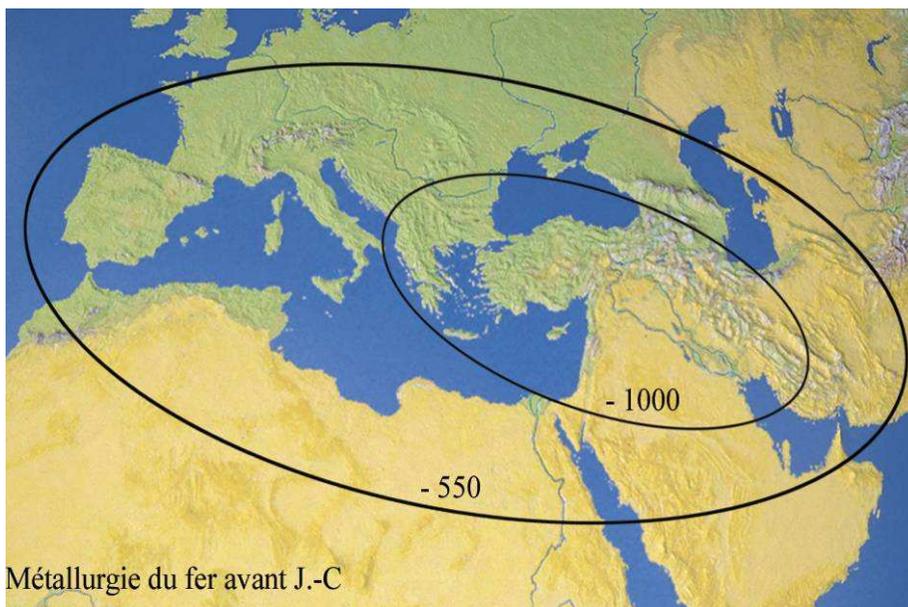


Figure 1

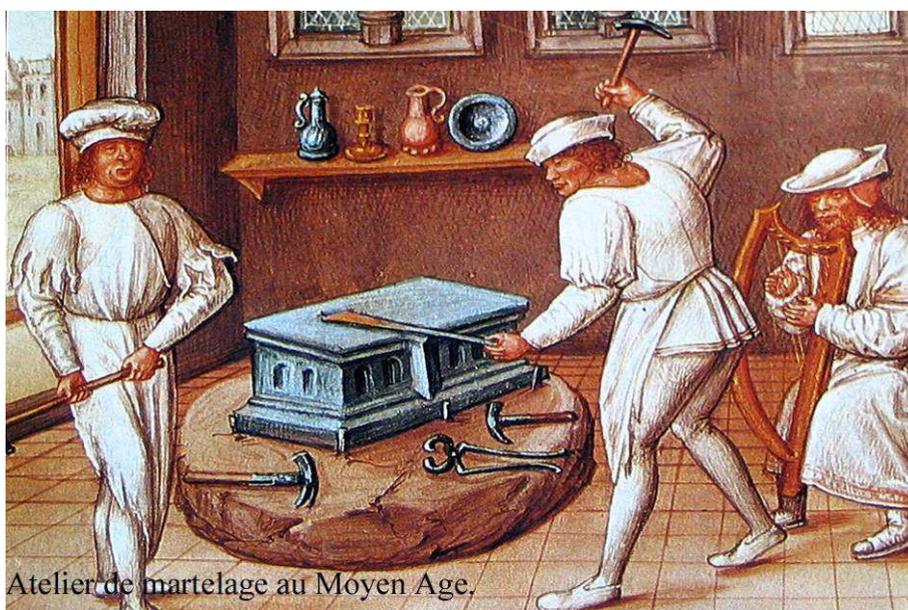


Figure 2

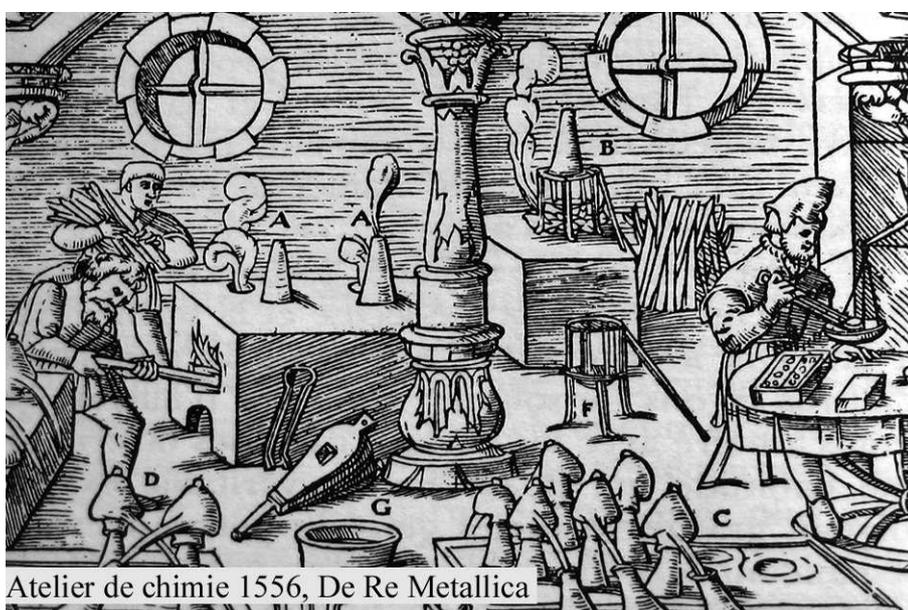


Figure 3

■ Petit rappel historique :

L'alchimie plaçait le fer sous le signe de Mars, dieu de la guerre de la Rome Antique. De même le signe martial - ♂ - qui mime une flèche prête à partir devint le symbole du sexe masculin.

C'est le fer météoritique utilisé depuis des temps immémoriaux qui a donné naissance au mot sidérurgie : de sideros - astre - et ergon - travail. De même sidérer - frapper de stupeur - vient de siderari - influence des astres -. Ce fer météoritique était encore utilisé relativement récemment par les Inuits par exemple.

Au XVIIIème siècle avant J.-C., à Alalakh (frontière turco-syrienne), des tablettes cunéiformes hittites signalent une production d'armes en fer. On a retrouvé des poignards en fer au Moyen-Orient. On fait aussi très référence à la «lettre» de Hattousili, dans laquelle ce roi hittite s'excuse de ne pas pouvoir envoyer plus de fer de Kizzouwatna. Cette lettre date de 1275 à 1250 avant J.-C.

En 1000 av. J.-C environ, la métallurgie du fer concernait la Grèce, la Thrace, la Turquie, le Moyen-Orient et le nord de la péninsule Arabique, mais l'Egypte de la 21^e dynastie ne connaissait pas ces techniques (voir carte).

Les outils utilisés par les Egyptiens étaient en pierre dure - la dolérite - pour tailler la pierre par exemple et en bois pour les instruments de mesure on utilisait le bois. Pour le reste il y avait évidemment le cuivre.

Au VIIème siècle les Grecs savaient produire de l'acier par cémentation dans les fours de potiers : ils plaçaient un pot contenant des feuilles de fer et du charbon de bois dans le four et vers 900 degrés un peu de carbone passe dans le réseau métallique pour se « coincer » entre les atomes de fer.

Vers 550 av. J.-C l'extension de la métallurgie du fer est considérable et couvre pratiquement toute l'Europe (voir carte). Les deux grands sites du fer en Europe Occidentale sont Hallstatt (- 750 à - 475) en Autriche et la Tène (- 475 à - 50) en Suisse.

Plus tard durant le Haut Moyen Age on souda, à chaud, des feuilles de fer et d'acier pour obtenir les fameuses épées en acier damassé. Puis, entre le XI et le XIIIème, le moulin facilite beaucoup la vie des forgerons : invention de la came, du martinet, du bocard, du soufflet...

Les hauts-fourneaux ont commencé au XIIème siècle - 1736 - avec du charbon de bois et non du coke. On n'obtient pas la même fonte avec du charbon de bois qu'avec du coke. Il faut aussi faire très attention de ne pas avoir de soufre.

Au XVème siècle on commence à couler la fonte dans des - vrais - hauts-fourneaux à Liège par exemple....c'est le début de l'industrie du fer au sens moderne du terme.

Schéma d'un bas fourneau (document fourni par J.C Leblanc)

■ Un peu de chimie :

Après l'oxygène - 50% - le silicium - 26% - l'aluminium - 8% - le fer arrive en quatrième position dans les éléments les plus présents sur la Terre avec 5%.

Le fer , symbole Fe

Numéro atomique : 26

Masse molaire : 55,845

Masse volumique : 7874 kg.m⁻³

Point de fusion : 1536°C

Point d'ébullition : 2861°C

Résistivité : 9,7.10⁻⁸ Ω . m

Dureté : 4

La ténacité : résistance à la rupture par traction. Le fer est tenace : la charge de rupture d'un fil de 1mm² de section est de 30 kg environ.

La malléabilité permet de faire des feuilles de métal.

La ductilité permet de faire des fils.

Les alliages, propriétés de certains métaux de former des « solutions solides » avec d'autres éléments ou d'intégrer des « impuretés » dans le réseau cristallin, comme le carbone intégré dans le réseau cristallin du fer donne de l'acier ou de la fonte. Un alliage modifie les propriétés physiques du métal, l'acier est, en effet, plus dur, plus résistant mais moins ductile que le fer pur. (voir à ce propos le paragraphe sur le fer obtenu)

Le principal défaut du fer est son affinité pour l'oxygène et l'eau. La rouille - hydroxyde de fer - attaque le métal dans toute son épaisseur et limite la durée de vie des objets en fer.

Le fer se trouve toujours dans la nature sous forme de composés chimiques - ou d'alliages dans les météorites - soit pour les minerais les plus courants :

la goethite : FeO .nH₂O orthorhombique, cristallisée en prismes courts, lamelles ou concrétions.

L'hématite : Fe₂O₃ rhomboédrique, les formes de cristallisation dépendent de la température de solidification.

la magnétite : Fe₃O₄

la sidérose : FeCO₃

Nous ne traiterons brièvement ici que du procédé de purification du fer par voie sèche, mais il existe aussi des voies dites humides par précipitation ou électrolyse en métallurgie.

Le grillage permet d'obtenir un oxyde de fer débarrassé des impuretés - soufre, phosphore et eau - qu'on y trouve généralement. En voici la réaction :



A la place du grillage et pour certains minerais on fait une calcination dont voici la réaction:



Dernière opération, il faut réduire l'oxyde pour obtenir du fer métallique selon la réaction générale en métallurgie :



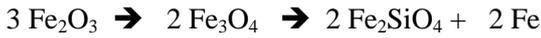
Ou MO est l'oxyde métallique, CO le monoxyde de carbone qui sert de réducteur, M le métal réduit donc sous forme métallique utilisable.

Soit pour le fer :



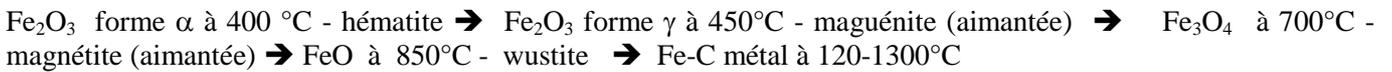
Cette réaction se produit vers 1200° C.

D'autre part dans la colonne de chauffe se produit une oxydation de l'hématite qui donne de la magnétite laquelle sera transformée en scorie et fer métallique selon les proportions suivantes :

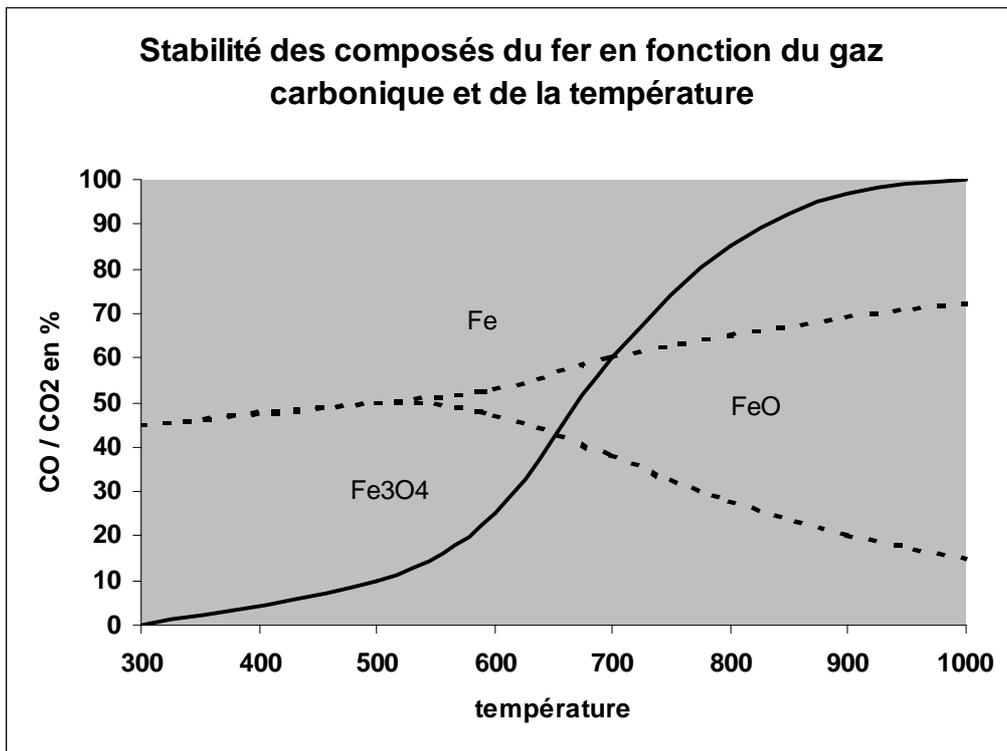


soit une quantité de fer métallique égale à la moitié de la quantité de fer présente dans la scorie ! Il vaut donc mieux avoir un minerai riche en fer - une teneur d'au moins 50%. Donc après le grillage et concassage on peut enrichir le minerai en le triant avec un aimant.

Pour le détail la transformation en fer se fait selon les étapes suivantes :

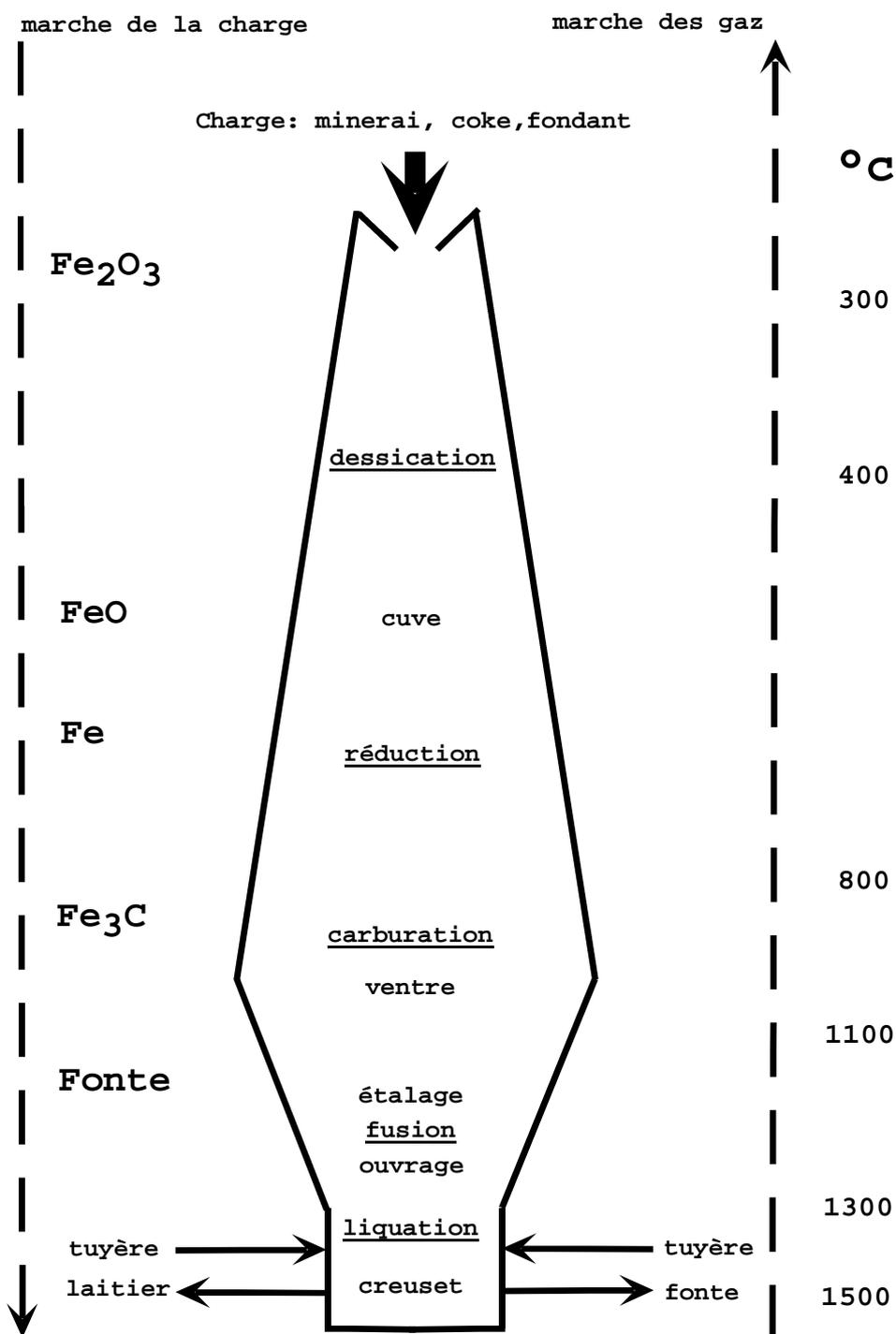


Pour réussir cette transformation il faut une colonne de four de 1,2 mètre au moins de haut, d'où notre construction de 1,5 m.



Le diagramme ci-dessus montre les zones de stabilité des différents composés du fer en fonction de la composition de l'atmosphère plus ou moins riche en monoxyde de carbone.

Schéma de haut fourneau



▲ Schéma de C.Köning

■ Le minerai :

Le minerai utilisé est de la limonite : un ensemble d'oxydes et d'hydroxydes de fer parmi lesquels la goethite et l'hématite. La limonite est souvent présente dans des roches d'origine magmatique ou métamorphique. Mélangée à de l'argile elle donne des ocres plus ou moins jaunes. Attention : le terme hématite brune est synonyme de limonite et non d'hématite.

Nous avons donc utilisé 150 kg de limonite de la Ferrière qui a subi un grillage d'une demi-journée, le mercredi 22 septembre. Un gros feu avec des couches alternées de minerai - environ 40 kg - et de braises, ajoutées au fur et à mesure. Ce feu a brûlé vivement tout l'après-midi.

Il a fallu ensuite séparer l'oxyde de fer des cendres et autres débris pour le mettre au sec sous une bâche en plastique en attendant la suite des opérations.

Pendant le temps de construction du four le samedi 16 octobre, une équipe a préparé le minerai - 30 à 35 kg de produit fini - nécessaire pour la réduction. Attention : ne pas contaminer le minerai par de la poussière de ciment si on travaille sur une dalle.

Concasser le minerai au marteau sur les pierres prévues à cet effet et trier : enlever les morceaux blancs - quartz - et tamiser - diamètre 1 cm - pour ne pas avoir de gros morceaux.

Étalonner un récipient pour verser chaque fois 2 kg de minerai dans le four.

En résumé et en gros ! on est parti de 150 kg de limonite, pour avoir 60 kg de minerai grillé. On a chargé 30 kg dans le four et on obtient 10 kg d'éponge de fer....environ !

■ La fabrication des briques :

L'étape suivante eut lieu le 6 octobre à la ferme de M. et Mme Giraudeau à Ste Hermine.

Ce fut la fabrication des briques en adobe pour le four.

Une dizaine de grandes poubelles d'argile sont mélangées par petites quantités avec du sable et de la paille - une poubelle d'argile, 1/2 seau de sable et 1/2 seau de paille - . Il faut piétiner ceci allégrement avec de l'eau pour en faire une pâte, repêtrée à la main par boules de 2-3 kg chacune. A ce propos, la prochaine fois on prendra du foin coupé plus petit les longs filaments d'herbe ont, en effet, gêné les mouleurs.

Le moulage des briques dans de petites formes en bois par estampage avec une argile ni trop molle, ni trop sèche : 300 moulages en tout, à savoir 200 grosses briques et 200 coupées en 2 dans le sens de la longueur pour le haut du four. Ici aussi deux remarques pour la prochaine fois : il vaut mieux pétrir une argile assez molle, bien mouillée, et rajouter de la poudre en tournant la boule dans un mélange de sable et d'argile tamisés juste avant de finir de la malaxer pour obtenir la bonne consistance. Le travail en est facilité et la fatigue diminuée d'autant ! Il faudrait des moules dont les charnières soient plus résistantes et qui ferment avec un petit crochet pour bien garder la forme rectangulaire.

Démoulage - très difficile si l'argile est molle -, finition et mise à sécher par terre, à plat, à l'abri des intempéries, jusqu'au 16 octobre.

Le tout nous a occupé toute la journée du mercredi une dizaine de participants assidus : 2-3 pour piétiner, 2-3 pour malaxer, 2-3 pour mouler suivant les moments, 1 pour démouler, 1 pour couper, et mettre les briques à sécher.

Nous avons gardé le reste de l'argile - 1 grosse poubelle - pour faire une barbotine pour monter le fourneau lui-même.

A différents moments nous avons été accompagnés par de la musique - vielle et cornemuse - et nous avons terminé l'après-midi par de délicieuses tartes au pommes préparées par Suzette Giraudeau.

Jean Chauvet et Dominique Loizeau sont venus immortaliser l'événement avec photos et film.

■ La fabrication du bas-fourneau :

La fabrication du bas-fourneau va se dérouler tout au long de la journée du samedi 16 octobre, et le récit que j'en fait se présente sous forme de liste d'étapes illustrées de petits schémas pour en faciliter la compréhension. Il y a aussi une série de photos qui correspondent aux étapes importantes de la construction. Pour que la réduction soit possible, il faut une colonne de four d'au moins 1,2 m de haut, c'est pourquoi notre construction va mesurer 1,5 m en tout.

Etape 1 : choix de l'emplacement, à l'abri de la pluie, la porte face au vent dominant. Marquer sur le sol une forme de huit dont la grosse boucle - diamètre 60 cm - sera le foyer et la petite - diamètre 40 cm - l'emplacement de la porte. Creuser le tout à la pioche sur 8-10 cm de profondeur pour asseoir l'édifice. Voir dessin No 1.

Etape 2 : mouiller légèrement le bord du creux du four et le crépir grossièrement avec de la barbotine. Poser les premières briques en biais sur la pente et dans le sens de la circonférence et les maçonner avec de la barbotine. Voir dessin No 2. Faire ainsi tout le tour du four.

Etape 3 : poser une deuxième couche de brique - en quinconce mais toujours dans le sens de la circonférence et bien à plat cette fois - sur la précédente et une troisième couche en arrière de la deuxième et dans le même sens mais en quinconce. Terminer par des demi briques si nécessaire. Voir dessin No 3. Maçonner soigneusement le tout avec de la barbotine et veiller à ce que le diamètre intérieur soit de 30-35 cm. Bien lisser l'intérieur et bien arrondir le fond. L'épaisseur de la paroi, au fond fait environ 25 cm.

Etape 4 : poser la quatrième rangée perpendiculairement aux deux précédentes et à cheval sur les espaces. Bien maçonner le tout. Puis la cinquième couche rayonnante comme la 4^{ème} mais à joints contrariés soit 7 briques plus 2 demis (en long) à chaque extrémité.

Etape 5 : faire encore une couche - la 5^{ème} - de même mais laisser libre l'espace de la quatrième brique entière - c'est à dire au milieu face à la porte - pour poser la tuyère No 1. Après cette 5^{ème} couche le diamètre est toujours le même à l'intérieur 25 à 30 cm et la hauteur fait environ 25 cm maintenant. Poser la tuyère dans l'espace réservé et orienter le tube en pvc de manière que son prolongement arrive exactement en face de l'entrée du four un petit peu en arrière de celle-ci de manière que le point le plus chaud se trouve légèrement en avant du milieu du four pour faciliter la coulée des scories. Voir dessin No 4. Puis 6^{ème} et 7^{ème} rangées de briques de même.

Etape 6 : A la 8^{ème} rangée laisser un espace pour la 2^{ème} tuyère comme on l'a fait précédemment. A l'avant du four, placer maintenant une brique en long de chaque côté de manière à former un couloir de chauffe . Maçonner très soigneusement et monter en joints croisés jusqu'à la hauteur de la 8^{ème} couche. Ne pas hésiter à couper des briques si nécessaire pour faire une bonne « maçonnerie » avec de bons joints de barbotine. Prendre garde à la largeur de l'entrée : on doit pouvoir passer une pelle , pas trop large, et maçonner cette entrée facilement avec un nombre entier de demi briques par exemple. Voir dessin No 5. Vérifier que la surface de travail reste bien plane.

Etape 7 : Positionner la 2^{ème} tuyère avec les mêmes exigences que pour la 1^{ère}, c'est-à-dire qu'elle sera plus inclinée pour que le souffle arrive au même endroit. On a donc un trou de tuyère à 25 cm de haut et le 2^{ème} à 35 cm de haut environ, les 2 souffles arrivant au même endroit du four. Ce point est appelé point chaud du four et on doit y maintenir une température de 1250 degrés au moins pour liquéfier la scorie sans ré-oxyder le fer. Puis faire la 9^{ème} couche pour « noyer » la 2^{ème} tuyère dans la maçonnerie. Voir dessin No 6. Bien lisser l'intérieur.

Etape 8 : On a maintenant un four qui fait 40 cm de hauteur à l'extérieur et 50 à l'intérieur, avec un diamètre de 25-30 toujours.

On place maintenant en arrière de la porte 2 branches de bois vert - qui servent de linteau - que l'on enveloppe généreusement de barbotine sur 4-5 cm de haut et commencer - pour arriver à la même hauteur - la 10^{ème} couche avec des petites briques pour faire la base de la cheminée. Veiller à la planéité de la surface de travail. En 3 couches de petites briques, fermer le rond au diamètre du gabarit soit 25 cm. Attention d'assurer un bon scellement de la cheminée lors de cette étape : ceci est très important, ne pas hésiter avec la barbotine. Voir dessin No 7. Puis planter à ce niveau quelques petits morceaux de bois fin dans la paroi pour tenir le gabarit lors des mesures suivantes. Lisser l'intérieur.

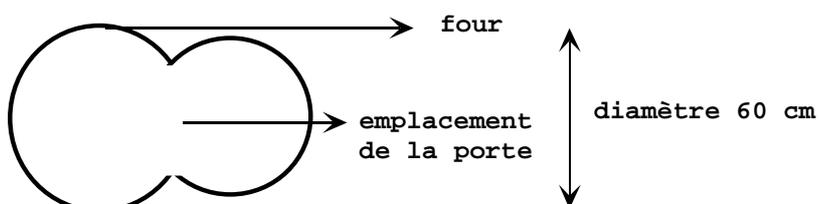
Etape 9 : Monter la cheminée à 1 m de haut soit une hauteur totale de 1,5 m pour le four qui fera ainsi 80 litres de capacité. Pour la cheminée bien tasser les briques entre elles et contre le gabarit pour que ça tienne au feu, faire des petits « coins » en argile assez dure pour caler les demi briques entre elles. Les bourrelets d'argile à l'intérieur de la cheminée - qui sont dus au tassement - sont utilisés pour lisser la paroi tous les 2-3 tours. Attention, pas trop d'épaisseur à l'intérieur de la cheminée. Vérifier le diamètre avec le gabarit.

Etape 10 : Faire un tout petit muret près du four - en surépaisseur - pour brancher les soufflets dans la tuyère basse en les posant sur leurs supports et en les fixant bien. Maçonner avec de l'argile tout le tour de l'entrée. Préparer des bouchons en argile dure et assez sèche pour les trous de tuyère et des petits capots pour l'ouverture si il y a des retours de flammes. Voir dessin No 8 et photos. Veiller à ce que le branchement soit solide les soufflets travaillent beaucoup et la structure souffre à cet endroit. La partie inférieure des soufflets doit rester fixe - elle est attachée à des piquets plantés dans le sol un peu en arrière du soufflet lui-même. L'ouverture circulaire d'entrée d'air sur le côté du soufflet est positionnée dessous ici - ça s'ouvre en montant - de manière à ce que ça n'aspire pas les gaz du four. La partie supérieure des soufflets est prolongée par des barres en bois qui permettent de s'asseoir à une certaine distance et d'allonger les jambes. Il faut que l'on puisse surveiller ce qui se passe dans le four par le trou de la tuyère. Le rôle du souffleur est capital, c'est lui qui surveille le feu...

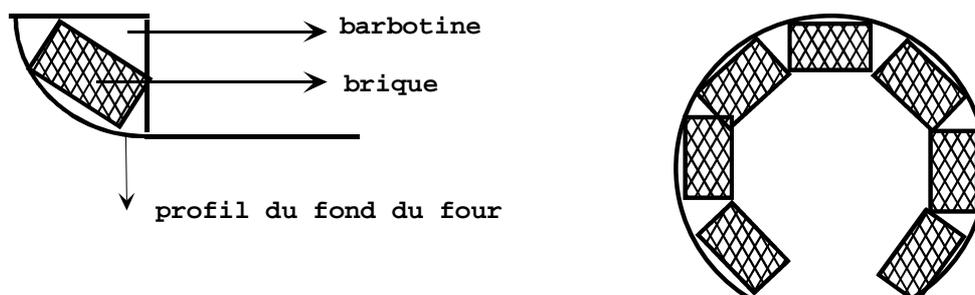
Etape 11 : allumer un petit feu en avant de l'ouverture et quand le tirage est bien en place pousser doucement les braises dans le four pour sécher un peu la structure. Faire un feu doux et pendant 1 heure environ et laisser mourir le feu.

Construction du bas fourneau

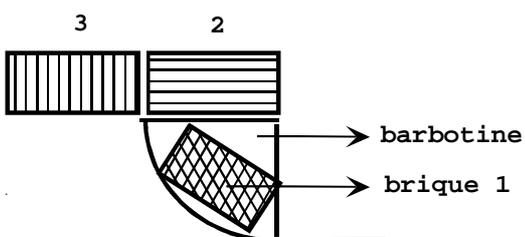
D1 fondations



D2 premières couches de briques

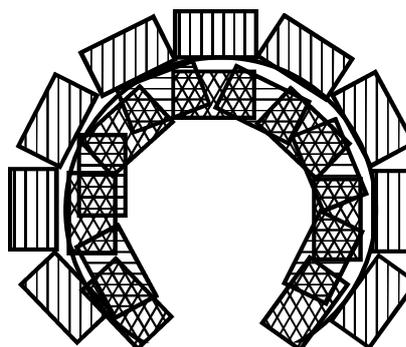


D3 suite

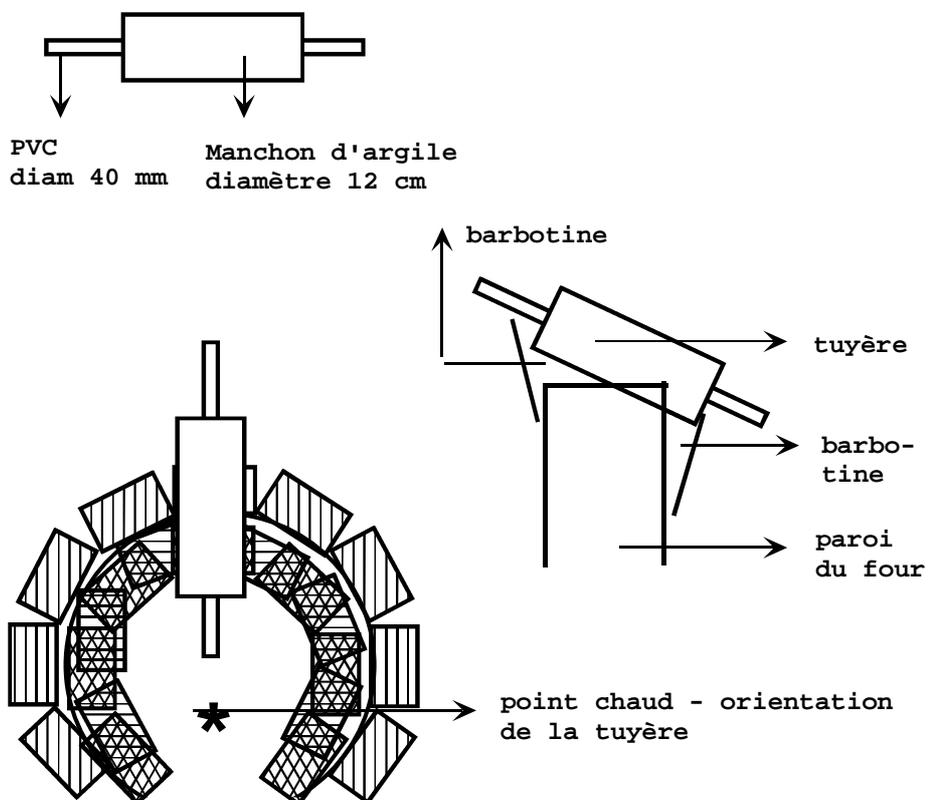


profil
de la paroi

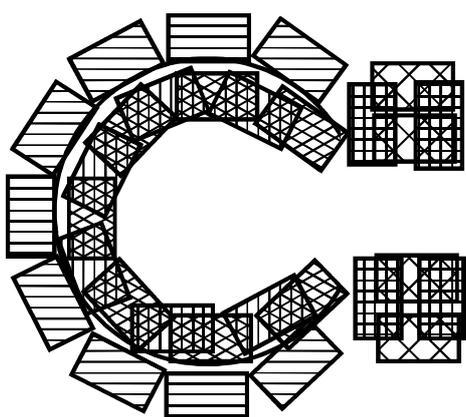
Vue de dessus des 3 premières couches de briques. L'épaisseur de la paroi au bas du four = 25 cm, diamètre intérieur = 30 cm. A ce stade on a une couche de brique au dessus du sol.



D4 première tuyère.

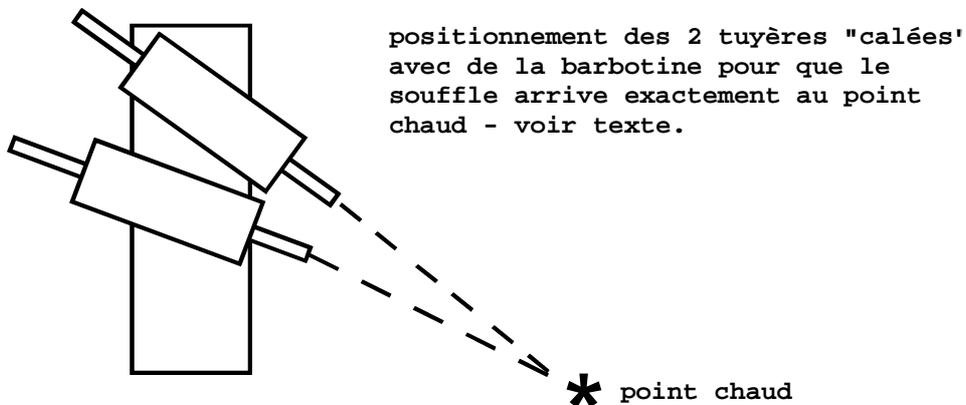


D5 la porte du four



les briques sont positionnées en alternance et de manière à laisser une ouverture assez large pour une pelle.

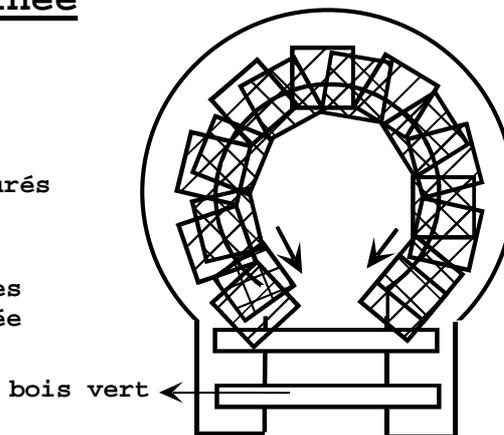
D6 tuyères.



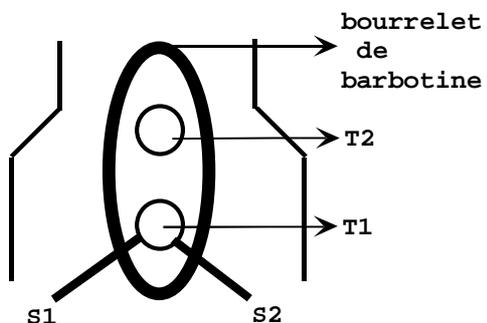
D7 linteau + cheminée

Vue de dessus: les bois verts servent de linteau et sont généreusement entourés de barbotine

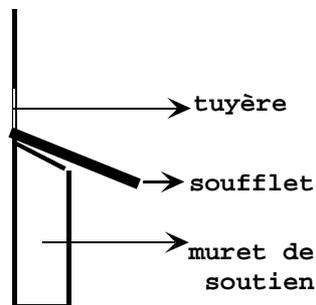
En 3 couches de demi-briques fermer le bas de la cheminée et bien la sceller.



D8 tuyères et soufflets



Profil



■ Jour de la réduction :

Etape 1 : vers 9 heures du matin allumer devant le four un petit feu que l'on maintient un moment pour la remise en température puis faire un bon feu ,toujours devant et quand il a bien pris (on entend le tirage et on voit bien les flammes partir dans le four) charger pour monter jusqu'à 900 degrés pour vitrifier l'intérieur du four en poussant le feu dans le petit couloir. On évite de pousser le bois dans le four qu'il faudra ensuite vider avant de le fermer. Souffler et chauffer au moins 40 minutes. Attention de manipuler les soufflets alternativement pour que le flux d'air soit continu. Souffler amplement mais lentement en principe. Ensuite enlever les cendres et les braises et réserver ces dernières à l'abri d'un petit coffrage – 60 x 60 x 60 - fait avec des briques restantes.

Etape 2 : fermer la porte du four de manière hermétique - au fond du petit couloir de manière à avoir un foyer plus ou moins sphérique - avec des petites briques et de la barbotine, en prenant soin de ménager un trou de coulée à 15 cm de haut maximum que l'on bouche avec un morceau de bois vert avant de colmater le tout. Attention c'est chaud !

Etape 3 : raviver et remettre les braises - 2 à 3 pelles - et ajouter du charbon de bois doucement en actionnant les soufflets. Répéter l'opération en vérifiant que le feu soit bien au milieu du foyer pour bénéficier de l'air apporté par les tuyères. Attention que l'air des soufflets ne refoule pas derrière le four, si nécessaire, coiffer la boîte à vent en mettant des capots de barbotine au dessus de l'ouverture des tuyères de manière à ce qu'on ne sente pas le vent si on met la main devant l'ouverture. Garder pour le moment la tuyère du haut bouchée avec son bouchon d'argile, on n'en a pas besoin.

Ce passage est très délicat car il ne faut pas que le feu crève sous le charbon de bois qu'on ajoute par paquets de 4 kg à la fois, donc le souffleur doit régler son débit pour toujours voir du feu. On peut « touiller » un peu avec la barre de fer en passant par la tuyère mais attention la tuyère est très fragile...Si le feu crève il faut tout démonter !

Etape 4 : Une fois que le feu a bien pris on remplit le four jusqu'en haut avec du charbon de bois et on souffle lentement mais fort en continu de manière à ce que la colonne de charbon prenne feu en entier.. Au bout d'un moment on aperçoit la flamme bleue de CO au sommet du four - 450 degrés, température à partir de laquelle on n'a que du CO stable, l'équilibre d'oxydation du CO étant complètement déplacé vers la gauche à ces températures - on peut le vérifier avec un bout de papier. On peut aussi aider un peu les choses en approchant un papier enflammé de la bouche du four et enflammer ainsi le gaz. Repérer dans quelle direction va la flamme et interdire tout passage dans ce secteur : la flamme se voit mal.

A ce moment le bas du four doit être blanc brillant à l'intérieur (1300 degrés env.)

Etape 5 : Une fois le charbon allumé en haut du four on recharge avec 8 litres et on attend environ 8-10 minutes pour que ça descende de 10 cm. Cette vitesse est à maintenir tout au long de la réduction et le souffleur doit régler son activité en conséquence. Injecter l'air de façon régulière mais pas trop à la fois - ça refroidit l'intérieur du four, mais oui ! - mais quand même assez pour que ça reste blanc à l'intérieur. Dans notre cas les soufflets font 20 litres et on injecte 15 litres à la fois environ.

Quand on aura du fer sur le feu, la production de fer étant exothermique, on gagnera environ 200 degrés et le souffleur pourra se calmer un peu !

Etape 6 : quand c'est descendu de 10 cm pour la 2^{ème} ou 3^{ème} fois on met le minerai - 2kg à la fois, plutôt du côté opposé à la tuyère mais réparti quand même - et on attend 3-4 minutes pour bien le sécher et le préchauffer - avant de recouvrir de 8 litres de charbon de bois. Ne jamais descendre en dessous de flamme jaune en bas et la flamme du haut doit toujours restée allumée. S'il y a une fuite, une flamme apparaît et il faut colmater avec de la barbotine tout de suite, on peut d'ailleurs colmater un peu les fentes avant d'avoir une vraie fuite. (Voir début du tableau ci-dessous).

Dans notre cas et parce qu'on a construit le four la veille, il « fume » sa vapeur d'eau abondamment, c'est tout à fait normal même si c'est impressionnant !

Etape 7 : Changement de tuyère. Moment particulièrement délicat et chaud.

Quand on voit fondre les scories et que celles-ci commencent à obstruer systématiquement la tuyère - on voit bouillir le liquide au fond du four - il est temps d'envisager cette opération stressante !. Déboucher la tuyère du haut, boucher la tuyère du bas avec un bout de bois. Remonter les soufflets et les re-fixer devant le trou à la bonne hauteur. Pour ça remonter les pieds d'un coup de marteau et re-tasser la terre autour avec des coups de marteau et ensuite rattacher les liens en cuir de manière à ce que les bouches de soufflets soient bien fixes - en effet, la barbotine reste mouillée et se démonte facilement, il faut donc un effort minimum sur celle-ci - et refaire un emplâtre d'argile tout autour.

Etape 8 : on continue la réduction. Voir tableau.

Etape 9 : Dans notre cas la scorie est vraiment épaisse et ne s'écoule pas du tout par le trou de la porte avant maintenant débouché. On doit donc employer les grands moyens si on veut finir la réduction de nos 30 kg de minerai. On démolit donc toute la porte et on fouille avec une barre de fer pour faire descendre la scorie puis on referme la porte avec un bout de bois vert et de l'argile - chaud ! - et on devra répéter 2 fois l'opération pour purger assez de scorie pour finir la réduction. Amélioration possible : construire un four avec un plan incliné à l'intérieur de l'arrière vers l'avant pour faciliter l'écoulement et ajouter de la scorie broyée d'une précédente réduction pour servir de fondant (voir matériel).

Etape 10 : à 15 heures on arrête la charge après 30 kg de minerai et on attend 40-45 minutes que ça descende, toujours en soufflant. Quand la 2ème tuyère se bouche on arrête de souffler et on démonte les soufflets.

Etape 11 : ouverture du four.

On nettoie bien autour du four pour ne pas salir le fer. Ouvrir la porte comme précédemment et sortir un maximum de scories puis le charbon de bois restant. Pour ce faire on a dû démonter les parois du petit couloir pour arriver à fleur de la chambre de réduction. Utiliser la pelle pour vider le bas du four mais ne pas oublier de la tremper dans l'eau entre deux - pas qu'elle fonde ! - les barres en fer et la pince sont aussi utiles ici. On a si bien forcé que le four s'est descellé au sol ! mais comme le fer se trouve le long de la paroi du four au-dessus des scories, nous n'avons pas pu le sortir sans casser la structure ! On a une belle éponge de fer de 9-10 kg. Ce qui est brillant, c'est la scorie, le fer lui-même est mat. Attention le massiot est très fragile : « c'est de la biscotte »...et il est 17 heures !

Pour faire un lingot c'est encore une autre paire de manches : il faut corroyer le fer ce qui représente encore 12 à 16 heures de travail ...et après il faudra le forger...

■ Déroulement de la réduction :

H : heure indicative

Δt : temps écoulé depuis l'opération précédente en minutes.

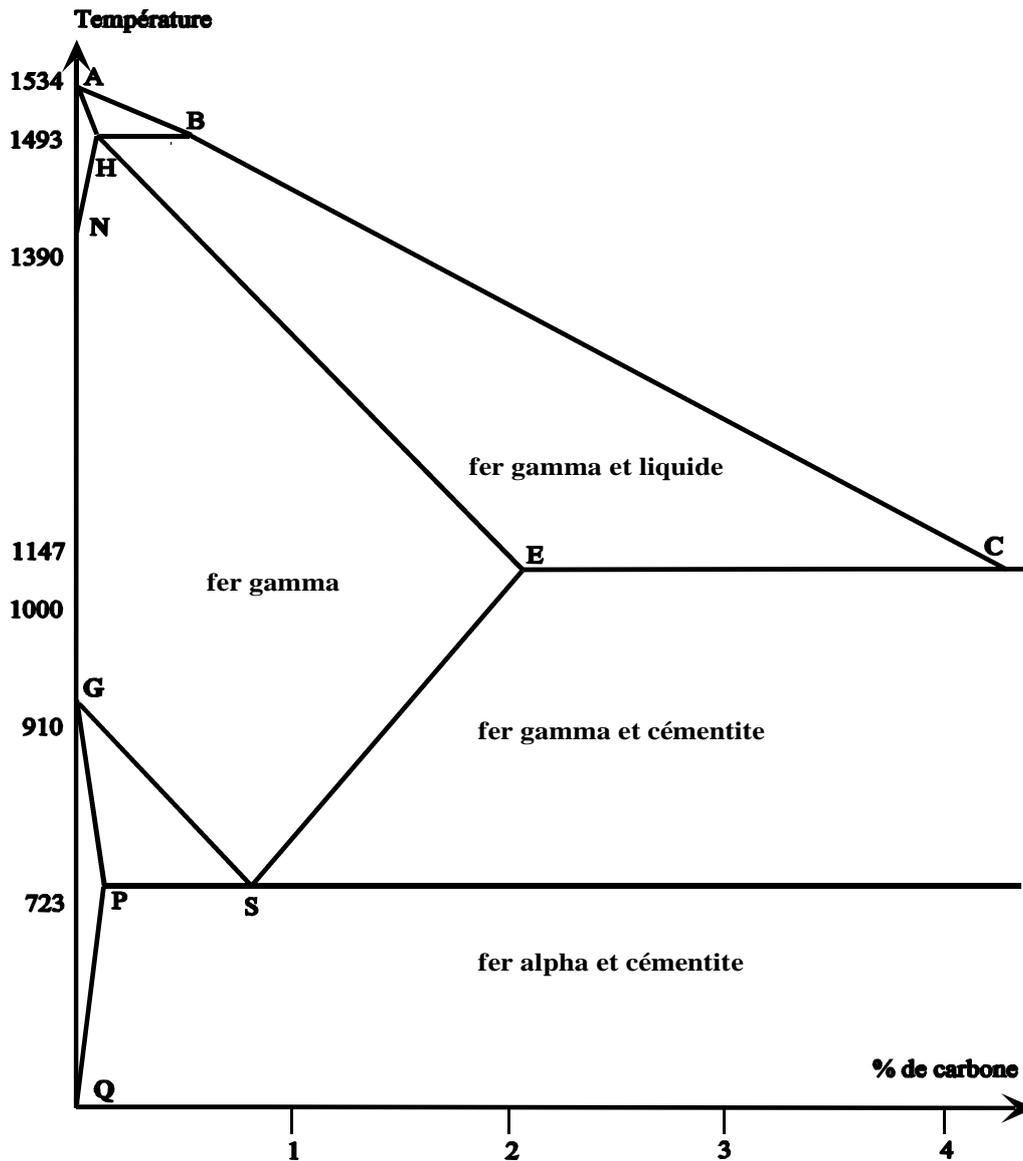
C : kg de charbon introduit dans le four par en haut

M : kg de minerai introduit dans le four par le haut

R : remarque sur le déroulement de la réduction

H	Δt	C	M	R
	0	1	0	Arrêter le soufflet le temps de charge
	8	1	0	
	10	1	0	Le charbon descend, feu très blanc, 1300°C
11h30	12	0	2	Première charge de minerai
	2.45	1	0	Changement de souffleur
11h45	9.15	0	2	Obturer le 2 ^{ème} trou de tuyère : flamme...
	6.15	1	0	Changement de souffleur, colmater les fentes
12h00	11.15	0	2	
	7.30	1	0	Première stalactite d'argile de la paroi
12h20	9.30	0	2	
	3.30	1	0	
12h35	13	0	2	M. Leblanc pense qu'on a une temp. de 1400°C
	7	1	0	Belle stalactite de fayalite
	13	0	2	Première coulée de scorie. On a mis 12 kg de minerai
	3.30	1	0	
13h15 env.	11	0	2	On doit enlever des scories avec la barre de fer, ouverture du four devant et changement de tuyère. Interrompre soufflage. DELICAT
	13.30	1	0	
	10	0	2	Reboucher devant et souffler
	4	1	0	
13h52	12	0	2	Ajustage des soufflets
	5	1	0	Vérifier avec un journal que ça brûle toujours en haut
14h10	9	0	2	
	7	1	0	
14h25	12	0	2	Scorie très visqueuse, 2 ^{ème} opération d'écoulement, ouvrir et refermer devant
	6	1	0	Souffler ample mais lent le four commence à être plein.
	11.30	0	2	
	4	1	0	
15h	9	0	2	
	2	1	0	
15h11	10	0	2	
	4	1	0	
15h25	9	0	2	Dernière charge on est à 30 kg de minerai
	4	1	0	
15h40				On souffle encore un moment en attendant que la charge descende.

Diagramme binaire fer- carbone



A (0 ; 1534) : PF fer 100 % **B** (0,51 ; 1493) : palier péritectique fer + liq ↔ fer γ **C** (4,3 ; 1147) : C est le point de la fonte blanche eutectique. La ligne **ABC** **représente le liquidus**, ceci signifie que dans toute la partie inférieure du diagramme on est en solution solide.

E (2,06 ; 1147) point du palier eutectique à 1147 degrés. Si le refroidissement est très rapide ce point peut se déplacer vers la gauche jusqu'à 1,75% de carbone, ceci limite la zone acier.

G (0 ; 910) **P** (0,02 ; 723) et **Q** (0 ; 500) limitent le triangle **GPQ** du fer α ou ferrite α

H (0,1 ; 1493) point de solubilité maximum de C dans le fer δ entre 0,07 et 0,1 %. **N** (0 ; 1390) le triangle **AHN** **délimite l'existence du fer δ ou ferrite δ .**

S (0,8 ; 723) la ligne 723 eutectoïde, fer γ ↔ fer α + cémentite. On a de la **perlite** qui a la consistance d'une lave vitreuse et la composition d'une rhyolite.

Les ferrites ont des **structures cristallines différentes** : cubique centré pour α et δ et cubique à faces centrées pour l'austénite.

■ Le fer :

Nous avons donc obtenu une éponge de fer d'une petite dizaine de kilos entremêlée de morceaux de charbon de bois. Les mesures de dureté montrent que le métal obtenu est constitué de ferrite et de perlite et contient peu de carbone dissout dans la structure (contraire du haut fourneau).

1. Il y a plusieurs solutions solides par insertion de carbone dans le fer (par opposition à solution par substitution) à savoir :

- **L'austénite** : solution de carbone dans le fer γ - gamma. La présence de Nickel dans l'acier stabilise cette phase - donc augmente sa surface sur le diagramme - à tel point que si la teneur en nickel dépasse 18% on a de l'austénite jusqu'à température ambiante !
- **La perlite** : eutectoïde formé par le fer et le carbone à 723 degrés .
- **La ferrite α et δ** : solution de carbone dans le fer qui cristallise dans le système cubique centré. Le chrome dans l'acier stabilise la phase alpha.
- **La cémentite** de formule Fe_3C formée de 12 atomes de fer pour 4 de carbone, de structure orthorhombique et qui a la propriété de se décomposer avant de fondre ce qui empêche de connaître toute la partie à droite du point C dans le diagramme binaire.
- **La martensite** : constituant dur des aciers qui cristallise en plaquettes ou en aiguilles et qui prend naissance par refroidissement brutal de l'austénite qui empêche une diffusion du carbone dans le fer.
- **L'acier** : s.s. solution solide de carbone dans le fer susceptible de durcir par trempe. Le diagramme montre que si la concentration de carbone dépasse 2 % il y a formation de l'eutectique qui contient 4,3 % de carbone, ce constituant étant caractéristique des fontes (parfois nommé ledéburite) . Le domaine des aciers est donc très limité à moins de 2 %, moins encore si l'on considère un possible refroidissement rapide qui ramènerait le point E sur la gauche à 1,75 %. Donc un acier a moins de 1,75 % de C et moins de 0,05 % de S (soufre) et P (phosphore) qui sont des impuretés indésirables.

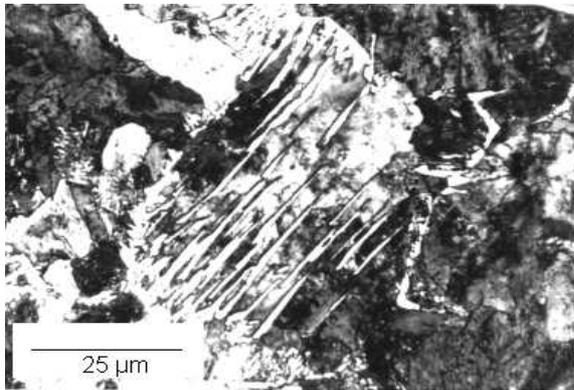
2. Il y a quelques manipulations très importantes dans le traitement du fer métallique de bas fourneau :

- **Le corroyage** : suite de manipulations consistant à chauffer et marteler l'éponge de fer plusieurs fois en l'étirant et en la repliant pour obtenir un lingot que l'on pourra ensuite forger.
- **La cémentation** : attention n'a rien à voir avec la cémentite ! L'acier peut être cémenté par des ciments solides - au Moyen Age - par exemple du charbon de bois pour le CO avec une possible adjonction de carbonate de baryum. La pièce chauffée subit une réaction superficielle d'adsorption par dissociation du CO, le carbone diffusant dans le métal à l'état γ . Ensuite on trempe la pièce pour durcir les zones cémentées par formation de martensite. Le durcissement de la pièce n'est que superficiel, l'intérieur gardant la même structure.
- **Le forgeage** : façonner - à chaud, en général - un métal par déformation plastique.

3. Les figures de Widmanstätten portent le nom du savant français (mais oui !) qui les a décrites pour la première fois en 1808. Ces structures apparaissent chaque fois que l'acier est chauffé à haute température - 1000 à 1100, donc en phase γ - pendant un temps assez long pour que les grains grossissent bien. Le refroidissement doit être brutal jusqu'à 700 degrés et ensuite normal pour que la ferrite se développe dans le plan 111 de l'austénite plutôt qu'aux joints des grains. La déshomogénéisation due au chauffage à haute température favoriserait la germination orientée de la ferrite. Ces structures se forment quelque soit la teneur en carbone de l'acier mais sont plus difficiles à obtenir si elle est faible.

Elles entraînent - pour l'acier - une dureté accrue mais aussi une fragilité plus grande et une corrosion plus importante. Elles ne sont donc pas recherchées du tout, même si elles apparaissent dans tous les aciers, les alliages de cuivre et même dans les métaux purs comme le titane ! En plus elles apparaissent de façon quasi systématique dans les soudures si l'on y prend garde et c'est précisément à cet endroit que la soudure va lâcher.

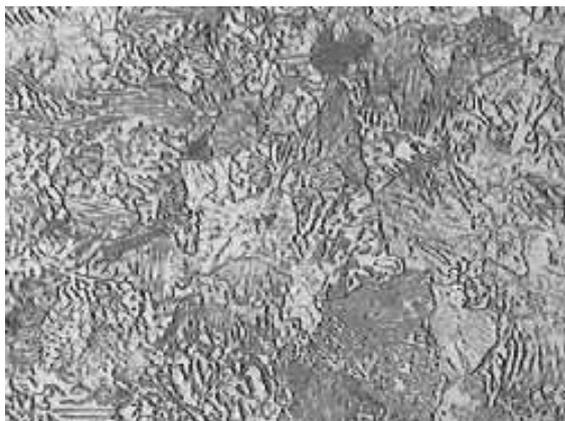
Photographies du CRDP de Nancy



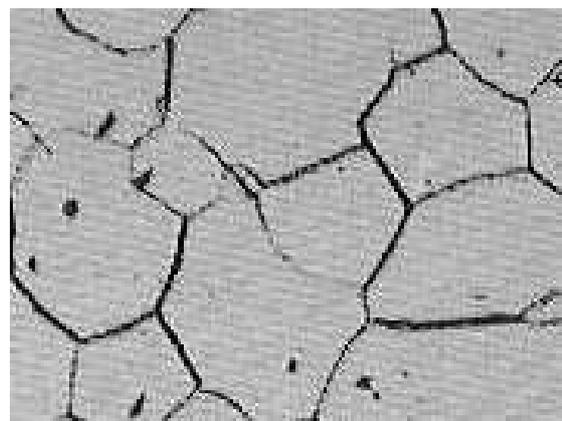
▲ Structure de « Widmanstätten » des dendrites orientées de ferrite sur matrice perlitique.



▲ Eponge de fer



▲ Perlite (X 400)



▲ Grains d'austénite (X 400)

Bibliographie :

Arrivé, L. Fin de l'exploitation du minerai de fer de la Thermelière. Rech. Vend, No 6, 1999 p 97-99.

Beranger G. et al. Le livre de l'acier. Tec Doc, Ed.Lavoisier, Paris, 1994

Durand,M. La microstructure des aciers. Ed Sirpe, Paris, 2003

Eliade, M. Forgerons et alchimistes. Ed.Flammarion, Paris, 1977.

Les cahiers de science et vie. 1000 ans de sciences, I, le Moyen Age p 61, cahier photos.

Mangin, M et al. Le fer. Ed. Errance, Paris, 2004, 240 p.

Mc Evedy, C. Atlas de l'histoire ancienne. Ed R. Laffont, Paris, 1989.

Monnier, D et Zahler, J. Cours de chimie. Ed. Georg, Genève, 1986.

Pascal, P., sous la direction de-. Nouveau traité de chimie minérale, Tome XX - 3, Ed.Masson 1964

Ronan, C. Histoire mondiale des sciences. Ed. Seuil,Paris,1988. ISBN : 2-02-0100045-2

Routhier, P. Voyage au monde du métal. Ed. Belin, Paris, 1999. ISBN : 2-7011-2403-4

Pour en savoir plus :

Agricola, G. De Re Metallica, libri XII, 1556

Les dossiers d'Archéologie. De nombreux articles

Mohen, JP. Métallurgie Préhistorique. Ed.Masson, Paris, 1997. ISBN : 22258-19661

Routhier, P. Du fer gaulois à l'acier sans frontière. Fer, Fonte, Acier : 3500 ans d'histoire. Ed. Godefroy de Bouillon, Paris, 1996, 189p. (disponible à la bnf uniquement.)

Internet :

Nombreuses entrées sur Google : métallurgie, fer, mines de fer, métallographie, bas fourneau....par exemple :

<http://moulinafer.free.fr/>

<http://www.cths.fr>.

<http://www.ac-nancy-metz.fr>

<http://www.eleves.ens.fr/home/robin/histoire/contemp/siderurgie.html>

www.cnrs.fr/DEP/prg/Hist.Savoirs/projets2003

www.culture.cg44.fr/Musee/collections

www.maison-des-sciences.org/hds/moyenage/

www.univ-tlse2.fr/utah/fer/index.html

← **Minerai
de fer**

▲ Extrait de la carte géologique de la Roche-sur-Yon

▲ Affleurement du minerai de fer des Thermelières

▲ Grillage du minerai de fer concassé

▲ Construction du bas-fourneau

▲ Réduction du minerai de fer dans le bas-fourneau

▲ Eponge de fer ou massiaux

▲ Fabrication du matériau de base : argile + foin

▲ Confections de boules argileuses

▲ Moulage de la brique d'argile

▲ Lissage et finition de la brique

▲ Moulage, démoulage, lissage des briques

▲ L'équipe de fabrication des 400 briques

▲ Jean - Claude Leblanc débute la construction du bas-fourneau et met en place une première tuyère

▲ Une construction du bas-fourneau à plusieurs mains

▲ Un assemblage précis des briques

▲ Utilisation d'un calibre

▲ Mise en place de deux soufflets

▲ Le bas-fourneau est achevé

▲ Allumage d'un feu au niveau du four

▲ Le four craquelle mais résiste bien

▲ le bas-fourneau est chargé de charbon de bois

▲ La température du four monte à 900°C

▲ Fermeture de la porte du four

▲ Les soufflets sont continuellement actionnés

▲ Le bas-fourneau est alternativement alimenté en charbon de bois et minerais de fer

▲ La tuyère basse est bouchée par les scories

▲ Changement de position des soufflets au niveau de la 2^{ème} tuyère ▲ Le battement alterné des deux soufflets reprend avec le président

▲ Apparition des scories dans l'orifice du four ▲ Ecoulement abondant de scories ou laitier ▲ Sortie du 1^{er} massiaux aux forceps

▲ Le premier massiaux est isolé

▲ Le deuxième massiaux

▲ Le massiaux en coupe : une éponge de fer

Fer, fonte et aciers depuis 1850

Pierre GIBAUD

L'essor de la machine à vapeur et celui de la sidérurgie (industrie du fer), sont étroitement liés. Les développements de l'un sont conditionnés par ceux de l'autre.

■ 1. Les clés de l'essor de la sidérurgie

- Le haut-fourneau dans lequel le tirage accéléré fait monter la température.
- Le coke obtenu par distillation de la houille et plus solide que le charbon de bois.
- Le convertisseur Bessemer décarbure la fonte et donne de l'acier.
- Le laminoir permet d'obtenir des produits profilés de grande longueur.

1.1 Le haut fourneau est une tour de près de 50 m de hauteur dans laquelle se croisent deux courants en sens contraires : les solides descendants (minerai + fondant + coke), les gaz ascendants : (l'air réchauffé enrichi en oxygène insufflé au 1/3 inférieur et les deux oxydes de carbone produits par les réactions sur le coke et sur le minerai).

Les réactions de réduction sont les mêmes que dans le bas-fourneau, mais la température nettement plus élevée, permet d'obtenir un mélange de fer et de 5% de carbone qui fond à 1250°. Cette fonte est recueillie liquide à 1600° dans le creuset et maintenant coulée en continu dans des lingotières puis dirigée vers les convertisseurs pour préparer l'acier.

Les scories appelées "laitier" surnagent la fonte. Ce laitier est utilisé pour donner des granulats, de la "laine de roche" ou bien il entre dans la composition des ciments.

Un haut-fourneau allumé ne doit jamais s'arrêter pendant les cinq à dix ans de son existence !

La production journalière de fonte peut atteindre les 10 000 tonnes pour les plus gros !

La charge solide descend en 5 à 8 h tandis que les gaz la traversent en 3 secondes !

La fonte en fusion contient par ordre décroissant d'abondance : Fe, C, Si, Mn, P, S...

Le laitier est essentiellement formé de silice, alumine, phosphates et oxydes de Mn et de Ca.

1.2 Le coke est le résidu solide de la distillation de la houille. Ce coke contient du carbone et des impuretés minérales. Il est très dur et résiste à l'écrasement de la charge. La porosité globale laisse ainsi circuler le monoxyde de carbone qui est le gaz réducteur de l'oxyde de fer. Le recours à la houille a donc ménagé les forêts de taillis mais il a libéré le carbone fossile sous forme de gaz carbonique dans l'air. Cette augmentation "industrielle" depuis 1800 est bien présente dans les carottes de glace du Groenland et de l'Antarctique !

1.3 La fonte contient environ 5% de carbone (carbures de fer et lamelles de graphite). Ces lamelles rendent la fonte cassante car elle se délite comme les feuillets du mica. Depuis cinquante ans, on utilise un traitement thermique qui permet de faire migrer le carbone en globules. La fonte à "graphite sphéroïdal" est beaucoup moins cassante que la "fonte blanche".

Autre propriété connue, la fonte et la glace d'eau, sont plus volumineuses solides que liquides. Donc au refroidissement, la fonte remplit bien les moules, comme "geler à pierre fendre" !

Un acier est un fer ne contenant plus que 0,2 à 1,2% de carbone. On enlève cet excès de carbone, dans un **convertisseur Bessemer** du nom de son inventeur anglais en 1846. Dans une cuve remplie de fonte liquide on fait arriver par le fond un violent courant d'air ou mieux, un jet d'oxygène. Ainsi on brûle les traces de silicium, de phosphore et le carbone en excès. La température monte de 1300 à 1600°. L'acier fondu est alors coulé en lingots appelés "brames" qui seront ensuite forgés ou laminés.

Le minerai de Lorraine contient du phosphore qui rend l'acier cassant. L'ingénieur Thomas a modifié l'intérieur du revêtement réfractaire interne du four Bessemer pour neutraliser ce phosphore. Maintenant, le minerai de Lorraine n'est plus utilisé car il est plus coûteux que celui de Mauritanie ou d'Australie !

1.4 Le laminoir produit les rails, les poutrelles, les tôles... car le marteau pilon n'est pas utilisable dans ce cas. Ce sont de puissants rouleaux qui écrasent en continu les "brames" chauffés au rouge afin d'obtenir le profil désiré : I, H, U, L, T, O, M, W...

La puissance de ces machines est telle que l'on peut laminier aussi à froid.

Le laminoir d'Arcelor-Usinor à Dunkerque a une longueur de plus de 500 m !

■ 2. Fer et aciers

2.1 Généralités

Le fer pur ne présente pas d'intérêt technologique car il n'est pas assez dur.

Il cristallise à 1536°C dans le système cubique centré. De 1401° à 906°C il passe au cubique à faces centrées puis revient au cubique centré au dessous de 906°. L'arrête de la maille cubique de ces deux types de structures mesure respectivement 293 - 363 - 286 en pm (picomètres).

Le rayon atomique du fer (indépendant de la température) est de 124 pm. Le "fer courant" est toujours un acier formé de fer et de 0,2 à 1,2 % de carbone.

L'acier n'est jamais un monocristal mais une juxtaposition de millions de petits grains eux-mêmes formés de monocristaux dont les caractéristiques précédentes sont perturbées par la présence du carbone libre et des carbures de fer.

Fer, cobalt et nickel sont trois métaux ferromagnétiques. Le fer perd son magnétisme au dessus de son "point de Curie" à 768°C.

L'acier est recherché pour sa ténacité (résistance à la rupture) de l'ordre de 700 N/mm².

2.2 Production des aciers

- réduction de la fonte au four Bessemer.
- affinage d'un mélange de fonte et de ferrailles au four Martin
- fusion des ferrailles triées et dégraissées dans un four à induction électromagnétique.

2.3 Catégories d'aciers

Comme les peintures, les aciers sont vendus sur un catalogue de 3000 "nuances" !

- Les aciers simples : (fer + 0,1 à 1,2 % de carbone)
- Les aciers alliés : acier simple + métaux particuliers et compatibles (cobalt, chrome, nickel, manganèse, tungstène, vanadium, ...) donnent des propriétés spécifiques : dureté (Co+W), élasticité (Si+Mn), inox (Cr+Ni), magnétisme (Ti+Co+Ni+Si+Al)...

■ 3. Les traitements thermiques

La présence des atomes de carbone de rayon différent perturbe le bel agencement cristallin et crée des contraintes. A plus forte raison si on utilise les atomes étrangers de Co, Ni, Mn Cr... Les contraintes thermiques au refroidissement sont omniprésentes : une structure stable dans le mélange chaud a souvent de toutes autres propriétés mécaniques à la température ordinaire.

On utilise quatre types de traitements pour améliorer les qualités et limiter certains défauts.

3.1 La trempe

Un acier a une structure "prometteuse" à chaud. Pour conserver ces propriétés "on trempe" par un refroidissement brutal (1000°C en <1 s) de façon à garder la structure cristalline "chaude" à la température ordinaire. Ainsi on augmente la dureté mais on augmente aussi la fragilité (fragilité bien connue des scies à métaux ou des anciennes lames de rasoir).

3.2 Le revenu

Un chauffage vers 300° pendant quelques minutes suivi d'un lent refroidissement permet de retirer beaucoup de la fragilité de la trempe au prix d'une perte légère de dureté (cas des outils devant résister aux chocs).

3.3 Les traitements chimiques

La carburation superficielle permet de former une mince couche de quelques 1/100 mm de carbures de fer très durs. La surface est ainsi rendue plus résistante à l'usure. Pour cela on fait la trempe dans de l'huile qui se décompose en libérant son carbone.

On peut aussi faire une nitruration en fabriquant une mince zone enrichie en nitrures de fer très durs. A Damas, dès le XV^{ème} siècle, on pratiquait déjà la trempe des sabres dans l'urine !

3.4 Traitements spéciaux

La combinaison de bons alliages, et de traitements thermiques ou chimiques judicieux permet d'obtenir des aciers adaptés à des usages bien spécifiques. Ces aciers spéciaux sont élaborés dans un four à arc électrique. C'est ainsi que l'on sait faire des ressorts inoxydables, des tôles aux propriétés magnétiques pour transformateurs électriques, des aiguilles très dures, inoxydables et très effilées, des aciers auto-trempants, des aimants permanents....

Les astuces trouvées apportent beaucoup de valeur ajoutée et sont à l'origine du succès de nombreuses entreprises spécialisées dans des produits "irremplaçables" !

Consulter l'animation "fabrication de l'acier" sur le site : [sollacmediterranee](http://sollacmediterranee.com)

■ Pierre GIBAUD.

La mesure de la température en métallurgie et en volcanologie

Pierre GIBAUD

Mesurer une température élevée, (métallurgie ou volcanisme) n'est pas simple !

■ 1 . Généralités

1.1 Grandeur mesurable

Une grandeur n'est mesurable que si on peut définir l'égalité et la somme pour cette grandeur.
Les sentiments et les sensations ne sont pas des grandeurs mesurables.
De même, on sait bien que 20°C n'est pas le double d'une température de 10°C.

1.2 Température et énergie

La température est liée à la quantité d'énergie calorifique d'une matière. Cette énergie calorifique correspond à l'agitation des molécules et des atomes.

De nombreuses grandeurs physiques dépendent de la température : les dimensions, le volume, la masse volumique, la résistance électrique, certaines propriétés magnétiques ou optiques...

La loi de variation de la grandeur G en fonction de la température (t) peut s'écrire sous la forme d'un "polynôme" du type : $G = G_0 (a t + b t^2 + c t^3 + \dots)$.

En général les termes b, c ... sont beaucoup plus petits que "a" et on peut les négliger en première approximation. On dit alors que l'action de la température n'agit qu'au "premier degré". Elle peut donc s'écrire sous la forme linéaire : $G = G_0 \cdot a \cdot t$. L'avantage de cette approximation est de rendre les graduations équidistantes sur les thermomètres.

1.3 Echelles connues

Tout thermomètre utilise une "grandeur" dépendant de la température et deux "points fixes".

Pour surveiller la température des couveuses à poulets, Réaumur à "inventé le thermomètre à dilatation de liquide. Le zéro correspond à la glace fondante et 80° (ébullition de l'eau).

Le suédois Celsius reprit ses travaux et adopta 100° pour l'ébullition de l'eau. A la même époque, l'allemand Fahrenheit choisit le mélange saturé glace-sel pour le zéro. Ce qui donne 32°F pour la glace fondante et 212°F pour l'ébullition de l'eau.

Ainsi l'échelle °F possède 180 divisions tandis que l'échelle Celsius n'en a que 100.

En Angleterre, les conversions $t^{\circ}\text{F} = 9/5 t^{\circ}\text{C} + 32$ ou $t^{\circ}\text{C} = 5/9(t^{\circ}\text{F} - 32)$ sont bien utiles !

1.4 Les points fixes

Pour repérer les températures on utilise des points caractéristiques fiables et reproductibles.

Ebullition de l'hélium : -268,81°C E de O₂ : -182,47 °C, Fusion de la glace : 0,0000°C,

E de l'eau : 100,00°C, E du mercure : 356,58°C, F du zinc : 419,50°C,

E du soufre : 444,60°C, F de l'argent : 960,8°C, F de l'or : 1065,0°C.

1.5 Température absolue

A partir de 1800, on a étudié la dilatation des gaz. Ils se dilatent facilement et leur volume dépend de la température selon la loi rigoureusement linéaire $V = V_0 \cdot a \cdot t^{\circ}$ où $a = 1/273$. On en déduit qu'à -273°C, le volume devient nul.

Au dessous, le volume serait négatif, ce qui est rigoureusement impossible ! Il en résulte donc un "zéro absolu" : $-273^{\circ}\text{C} = 0^{\circ}\text{K}$, température où l'énergie thermique totale est nulle.

L'échelle Kelvin en découle : $T\text{ }^{\circ}\text{K} = t^{\circ}\text{C} + 273$. C'est l'échelle des scientifiques. C'est la seule échelle où une température de 200°K est bien le double de celle à 100°K .

La température absolue est donc la seule qui soit "mesurable" au sens du §1.1.

■ 2 . Les différents thermomètres

2.1 Thermomètres à gaz

Ce sont les plus précis et les plus complexes. On les réserve aux laboratoires de métrologie.

2.2 Thermomètres à liquide

Ils sont les plus anciens et les plus connus. Le mercure permet des mesures de -30 à $+330^{\circ}\text{C}$.

2.3 Thermocouples

Une boucle formée de deux conducteurs de nature différentes (ex : Fer-Nickel) présente une tension électrique selon la différence de t entre les deux soudures. Un thermocouple équipe les chauffe-eau à gaz. La veilleuse éteinte, le thermocouple est inactif et ferme le gaz.

2.4 Thermistances

Un oxyde de métal en poudre frittée (compactée) a souvent une résistance électrique qui décroît avec la température (CTN = coefficient de température négatif). Ce type de composant est très utilisé en électroménager pour assurer le bon fonctionnement des automatismes.

2.5 Le nouveau thermomètre médical

Le mercure étant un métal toxique, les thermomètres médicaux -souvent cassés- sont maintenant obligatoirement remplacés par un détecteur InfraRouge muni d'un filtre de fréquence. Plus la température de l'oreille est élevée, et plus le flux d'IR est grand. Un convertisseur afficheur indique alors la température. La loi n'est pas rigoureusement linéaire mais seulement acceptable entre 35° à 45° .

2.6 Pyromètres optiques

La loi de Stefan énonce que l'énergie irradiée dépend de la quatrième puissance de la température absolue $E = k T^4$. Elle énonce aussi que la radiation la plus abondante voit sa longueur d'onde diminuer quand la température augmente. Ainsi à partir de $600-700^{\circ}\text{C}$, le rayonnement devient visible dans le rouge (incandescence, braise) et s'enrichit en couleur orangée, jaune...quand la température s'élève. La lumière devient alors de plus en plus blanche. L'analyse du spectre de la lumière émise renseigne donc précisément sur la température.

Les astronomes utilisent cette loi pour mesurer la température superficielle des étoiles. Pour le soleil on mesure 5780°K avec un rayonnement majoritairement émis dans le jaune.

Dans l'industrie on détermine la température d'un métal "chauffé à blanc" avec un pyromètre optique. Il en existe deux types, le second plus récent, supplante définitivement le premier.

- mesure par comparaison de couleur : un filament est chauffé par un courant jusqu'à obtenir la même couleur que la matière chaude observée. Un étalonnage soigneux permet de déterminer la température à 10°C près pour les températures comprises entre 800 et 2500°C . Hélas, la mesure est lente et pas automatisable.
- mesure du rayonnement IR. Une photodiode observe la lumière émise sur la zone IR de $0,8$ à $1,1$ micromètre. Les lois du rayonnement de Planck, Wien et Stefan permettent de déterminer en quelques ms, à 1 ou 2°C près, la température d'un four, d'un métal en fusion, ou d'une lave sortant du cratère. Ce sont les appareils les plus fiables et les plus utilisés pour les hautes températures.

En visant une coulée de lave, les volcanologues obtiennent une réponse immédiate. En la couplant au GPS, la cartographie de cette coulée est ainsi rapidement effectuée !

■ Pierre GIBAUD

La cristallographie

Pierre GIBAUD

La géologie étudie autant sols et paysages en général que minéraux et cristaux en particulier.

Un minéral est un solide naturel homogène, possédant une composition chimique bien définie. La matière solide peut se présenter sous trois états : amorphe, vitreux et cristallisé.

Un cristal est une structure présentant une forme géométrique, des surfaces planes et des angles caractéristiques. Cette géométrie traduit ce qu'on appelle l'état cristallin.

La forme d'un cristal résulte de l'arrangement ordonné de ses éléments constitutifs qui sont des atomes, des ions ou des molécules neutres.

Les cristaux sont merveilleux à observer pour leurs formes géométriques, leurs enchevêtrements, leurs reflets, leur réfringence, leurs couleurs et leur complexité.

Ils sont donc avidement recherchés par les collectionneurs. Et nous en connaissons d'éminents dans l'Association vendéenne de Géologie.

Quels sont les facteurs responsables des propriétés fascinantes des cristaux ?

Voici quelques éléments de réponse sur leur structure, leur classification, et quelques propriétés caractéristiques.

■ 1. Historique

L'étude de la structure des cristaux a été réalisée par de nombreux scientifiques.

Cependant quatre noms méritent d'être cités en particulier :

- L'abbé **René Haiüy** (1743-1822) observe qu'un fragment de cristal possède une forme semblable à celle du cristal-mère. Il en déduit l'existence de 7 familles de cristaux.
- **Auguste Bravais** (1811-1863) étudie mathématiquement les éléments de symétrie et démontre qu'il n'existe que 14 systèmes cristallins pour occuper l'espace sans cavité.
- **Louis Pasteur** (1822-1895) chimiste, étudie la stéréochimie et découvre la "chiralité" des molécules n'ayant pas d'élément de symétrie. Puis il s'intéressera à la médecine.
- **William Bragg** (1862-1942) physicien, mesure la dimension des atomes grâce à la diffraction des rayons X par un réseau cristallin. En 1905, La "loi de Bragg" apporte la preuve définitive de l'existence des atomes !

■ 2. Les éléments de symétrie

2.1 .Axes de symétrie

Prenons un exemple de cristal cubique :

Si l'on fait passer un axe par le centre de deux faces opposées, une rotation multiple de 90° autour de cet axe redonne un cube dans une position identique. On dit que cet axe possède une symétrie d'ordre 4, il est appelé axe quaternaire. Le cube possédant six faces opposées deux à deux, il possède donc trois axes quaternaires.

Une rotation de 180° autour d'un axe passant par le centre de deux arêtes opposées, donne une position identique. Cet axe correspond à une symétrie d'ordre 2, est appelé axe binaire. Le cube possédant 12 arêtes, il a donc six axes binaires.

Toute rotation de 120° autour d'un axe passant par deux sommets opposés, redonne une position identique. Cet axe est donc un axe de symétrie d'ordre 3 ou axe ternaire. Le cube possède huit sommets et donc quatre axes ternaires.

Ce qui est facile à imaginer pour le cube peut être transposé à d'autres figures géométriques.

2.2. Centres et Plans de symétrie

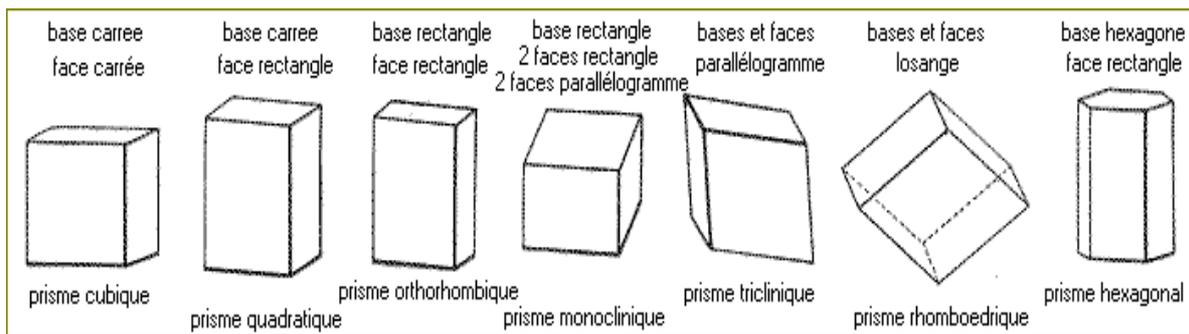
- Un plan de symétrie est déterminé par la rencontre de deux ou plusieurs axes de symétrie.
- Le centre de symétrie est à l'intersection de plusieurs axes ou de plusieurs plans de symétrie.

■ 3. Formes géométriques élémentaires

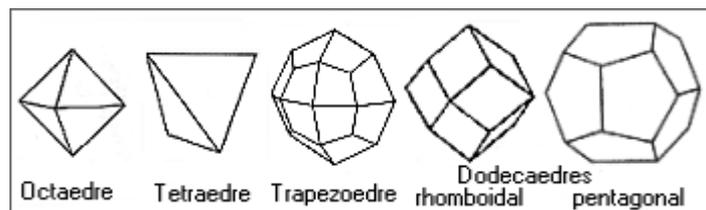
3.1. Le pinacoïde : On appelle "pinacoïde", le volume balayé par la structure de base autour d'un axe de symétrie. Cette forme est un prisme "ouvert". Un pinacoïde peut être fermé soit par une pyramide soit par une surface plane, soit par...

3.2. Le prisme : C'est un solide de forme géométrique simple possédant deux bases de même forme, "parallèles" entre elles, et dont les faces latérales sont des parallélogrammes. Il est dit "droit" si les faces latérales sont perpendiculaires aux bases (elles sont alors des rectangles ou des carrés), et "oblique" quand ces faces latérales sont inclinées sur les bases.

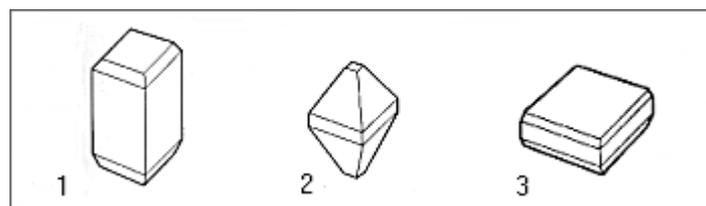
Il n'existe que 7 systèmes de prismes qui peuvent s'empiler sans laisser de vide entre-eux :



Ci dessous quelques formes fermées simples du système cubique :



Les pinacoïdes peuvent être "fermés" par différentes formes et l'ensemble montre des troncutures caractéristiques qui ajoutent beaucoup à la beauté des cristaux :



■ 4. Les 14 réseaux

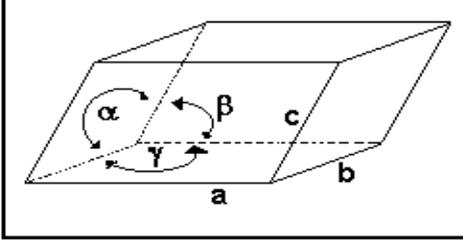
4.1. La maille

On appelle "maille", le motif géométrique élémentaire qui est à l'image de la structure du niveau atomique ou moléculaire.

Le "primitif" est le repère d'espace (O, x, y, z) chaque axe porte respectivement les longueurs unitaires a, b, et c. Les axes entre-deux forment respectivement les angles α , β , et γ .

4.2. Les 14 réseaux de Bravais

D'après l'étude des éléments de symétrie, le mathématicien Auguste Bravais a énoncé qu'il n'existe que 14 types de mailles pour occuper l'espace sans cavité entre-elles. Dans la nature, tous les minéraux et tous les cristaux appartiennent effectivement aux 14 réseaux de Bravais.

	<i>cubique</i>	<i>quadratique</i>	<i>orthorhombrique</i>	<i>monoclinique</i>	<i>rhomboédrique</i>	<i>hexagonal</i>	<i>triclinique</i>
SYSTEMES CRISTALLINS	 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	 $a \neq b \neq c$ $\alpha = \gamma = 90^\circ \neq \beta$	 $a = b = c$ $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$	 $a = b \neq c$ $\alpha = \beta = 90^\circ \neq \gamma = 120^\circ$	 $a \neq b \neq c$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
RESEAUX DERIVES (réseaux de BRAVAIS)	 simple  centré  à faces centrées	 simple  centré	 simple  centré  à deux faces centrées  à faces centrées	 simple  à deux faces centrées			

Cubique : diamant, grenat, pyrite, spinelle

Quadratique : zircon, rutile

Orthorhombique : topaze, péridot,

Monoclinique : épidote, jade, malachite, orthose

Rhomboédrique : améthyste, citrine, hématite, rhodochrosite, rubis, saphir

Hexagonal : béryl, émeraude, quartz

Triclinique : disthène, rhodonite, turquoise.

■ 5. Les Propriétés générales

Devant le nombre énorme de minéraux, et de cristaux, il a fallu trouver des critères de tri.

Voici dans l'ordre alphabétique, une sélection de 10 propriétés essentielles à leur identification et à leur classification.

5.0. Acide : Le minéral fait-il effervescence (carbonate) au contact d'un acide ?

5.1. Cassure : Elle décrit l'aspect des surfaces brisées. Ex : la cassure conchoïdale a la forme d'une coquille (cf. verre cassé)

5.2. Clivage : Cassure préférentielle suivant un plan sous l'action d'une contrainte. Les plans de clivage sont des plans de moins grande densité atomique ou de plus faible liaison chimique. Nombre de plans de clivages : micas : 1, pyroxènes 2 à 90°, amphiboles : 3 à 60°

5.3. Couleur : Celle de la lumière renvoyée : lumière blanche (poly-chromatique) initiale moins les longueurs d'onde absorbées par la substance. Facile à observer mais la couleur est un mauvais critère d'identification en raison des impuretés très souvent présentes.

5.4. Densité : Cette matière est combien de fois plus lourde que l'eau ? La densité est un nombre sans dimension (sans unité). Elle dépend de la composition chimique et de l'organisation atomique interne.

5.5. Dureté : C'est la résistance à la rayure. L'échelle de Mohs est une échelle relative, croissante et constituée par une liste de dix minéraux servant de référence. Il rayent les matières moins dures et sont rayés par les autres. Sur le terrain, on utilise l'ongle, la lame de couteau, et le verre.

1 : talc 2 : gypse ongle 3 : calcite 4 : fluorine 5 : apatite couteau
6 : orthose verre 7 : quartz 8 : topaze 9 : corindon 10 : diamant

5.6. Eclat : Il est lié au pouvoir réflecteur du minéral. Il dépend de l'état de la surface et de la nature physico-chimique. Il faut rappeler que l'éclat métallique des métaux et de leurs alliages est dû à l'impossibilité pour la lumière de pénétrer dans un conducteur électrique.

5.7. Forme : Elle dépend du type de maille. Le cristal présente des faces planes, formant des angles spécifiques et un certain nombre d'éléments de symétries (axes, plans, et centres).

5.8. Macles : Ce sont des associations de plusieurs cristaux de la même espèce, inclinés sur le cristal principal selon des angles caractéristiques.

5.9. Magnétisme : C'est la propriété d'être attiré par un aimant. En réalité le magnétisme est plus complexe et le spécialiste distingue plusieurs types de magnétisme : le dia-, le para-, le ferro-, et l'antiferro-, (magnétisme).

■ 6. Diffraction des rayons X

6.1. Indices de Miller

Chaque maille est munie d'un repère (O, x, y, z)

Chaque axe est gradué respectivement par les unités a, b, et c.

Le plan passant à la distance "a" de O et parallèle au plan (Oyz) est affecté de l'indice 1.

Sa référence dans le code de Miller, appelé "indice de Miller" est désigné par : (100).

Le plan passant à la distance "b" de O et parallèle au plan (Oxz) sera le plan (010).

Idem pour le plan à la distance "c" et parallèle au plan (Oxy) et sera le plan (001).

On définit de même des plans 200, 020, 110, 111....

6.2 Diffraction

Soient deux atomes A et B irradiés par un faisceau monochromatique de rayons X de longueur d'onde λ voisine de la distance séparant ces deux atomes.

On admet, en première approximation, que tout atome irradié réémet dans toutes les directions de l'espace, l'essentiel de la radiation reçue et sans changement de fréquence.

En conséquence les atomes irradiés vont se comporter chacun, comme une source secondaire. Du fait de la nature ondulatoire des rayons X, ces sources vont provoquer des interférences "lumineuses". Le cristal tout entier se comporte donc comme un réseau optique en 3 D.

Pour une rangée "infinie" il n'y aura une interférence additive que dans les directions telles que $k \lambda = a$ où k est un nombre entier et "a" est le "pas" de la maille sur l'axe Ox.

Pour un réseau cristallin dans l'espace, les conditions de la transmission sont les mêmes.

Le réseau est défini par ses unités a, b et c sur chaque direction, ce qui va donner les trois conditions de transmission à satisfaire simultanément : $k_1 \lambda = a$ $k_2 \lambda = b$ et $k_3 \lambda = c$.

(k_1, k_2, k_3 , sont des nombres entiers). Si ces conditions sont satisfaites, tous les atomes du réseau réémettent en phase (tous ensemble) le rayon X incident.

Les nombres k_1, k_2, k_3 , sont des multiples des indices de MILLER des "plans réfléchissant".

Par un calcul géométrique, Bragg a trouvé la relation fondamentale : $2 d \sin\theta = n \lambda$.

"d" est la distance entre deux plans voisins servant de "miroir" aux rayons X,

" θ " est l'angle dont est dévié le rayonnement, et "n" est un nombre entier (petit).

Dès 1900, en irradiant un cristal de sel (Na^+Cl^-) avec des rayons X, Bragg a recueilli les rayons diffractés sur une plaque photo. La mesure précise des angles θ de diffraction, permet d'en déduire la distance "d" entre les différents plans diffractants. Les indices de Miller lui ont permis de prouver que le cristal de sel est une combinaison de deux mailles Cubiques Faces Centrées décalées : un réseau CFC d'ions Cl^- et un autre CFC de Na^+ imbriqué. Tous les ions sont tangents à leurs plus proches voisins.

En conclusion

Par la suite, la multiplication des mesures a permis de nombreuses et fécondes découvertes.

En particulier, cette diffraction a donné définitivement **la preuve de l'existence des atomes**, des ions et des molécules. Les mesures précises, ont donné **les dimensions des atomes** ou des rayons ioniques ainsi que les distances entre tous les composants des cristaux. On en a aussi déduit leur masse et leur nombre par unité de volume !...

■ Aide-mémoire rédigé par Pierre GIBAUD

EXPOSITIONS

L'exposition « Il y a 50 millions d'années, le fleuve Yprésis traversait la Vendée »

► **Montaigu du 9 Janvier au 8 Février au Parc des Rochettes**

C'est dans un cadre magnifique, le Parc des Rochettes, que l'exposition a été présentée aux habitants de Montaigu. L'inauguration, le samedi 10 Janvier, a réuni plus de 80 personnes. Conférence et sortie animées par Gaston Godard ont eu lieu les 23 et 24 janvier.

Plus de 2000 personnes ont visité l'exposition dont 18 classes, écoles primaires, collèges et classes de terminales. Les élèves ont témoigné un vif intérêt, le fleuve ayant laissé des traces bien visibles dans le paysage actuel.

► **Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, du 1^{er} Mars au 28 Mars.**

L'exposition a été présentée dans la salle du Chauffoir de l'Abbatiale de St Philbert-de-Grandlieu. Michel Chevalier, un des découvreurs d' Yprésis a présenté l'histoire de ce fleuve le samedi 27 Mars.

Notre sortie autour du Lac de Grand-Lieu le dimanche 28 mars nous a permis de revoir cette exposition et de visiter l'exposition « Chroniques terrestres » réalisée par le Conseil Général de Loire-Atlantique.

► **Centre d'Interprétation Géologique du Thouarsais, du 29 Mars au 30 Juin.**

Les anciennes écuries du château de Thouars ont accueilli pendant un mois l'exposition Yprésis. De nombreuses traces du fleuve sont encore visibles dans les Deux-Sèvres, du côté de Faye-l'Abbesse, Chiché : cailloutis, sables ainsi que des morceaux de palmier, araucaria fossilisés.

L'animation de l'exposition a été assurée par l'équipe du Centre d'Interprétation Géologique du Thouarsais qui gère les carrières du stratoptype du Toarcien.

► **Deux expositions d' Yprésis sont prévues en 2005 : la première à Nantes, la seconde à Faye-l'Abbesse.**

Exposition de Minéraux

de Gérard BERTET et Gérard MERAND

Montaigu, du 5 au 20 janvier 2005

Après Yprésis, la Maison d'Exposition du Parc des Rochettes de Montaigu, a accueilli une exposition de minéraux présentée par Gérard Bertet et Gérard Merand.

Cette manifestation avait été préparée de longue date par nos deux collectionneurs. Plus de 500 échantillons ont été présentés avec un souci pédagogique et scientifique bien affirmé.

La première partie de l'exposition a été consacrée aux réseaux et systèmes cristallins avec présentation de minéraux isolés caractéristiques de ces systèmes, puis des exemples de maclage, clivage...

Les vitrines présentaient, ensuite, les principaux types de minéraux: quartz, barytine, calcite, fluorine, aragonite, célestine, pyrite...

D'autres vitrines étalaient de belles associations minérales, des minerais de cuivre, plomb, fer... , des minéraux du basalte.

De nombreux panneaux didactiques présentés au-dessus des vitrines apportaient des explications souvent indispensables aux néophytes.

Un montage permettait de comprendre la formation d'une fulgurite, petite tubulure de verre siliceux provoquée par une fusion localisée due à la foudre dans certaines roches: sables, grès...

Une salle avait été réservée aux minéraux vendéens et régionaux, et une quinzaine d'agrandissement~photographiques de sites géologiques vendéens complétait l'exposition.

Durant ces 2 semaines, 1380 visiteurs ont pu apprécier cette exposition, posant de multiples questions aux organisateurs. Le dimanche 16 janvier, de nombreux adhérents se sont retrouvés l'après-midi pour juger et féliciter en connaisseurs le niveau de cette exposition. Plus de 250 personnes dam l'après-midi de ce dimanche s'étaient donné rendez-vous au Parc des Rochettes.

Au nom de tous les adhérents, félicitations et merci aux 2 organisateurs.

■ *Louis ARRIVE*

Œuvre de deux collectionneurs privés, l'exposition, a lieu du 5 au 20 janvier

Les minéraux s'installent aux Rochettes

À l'invitation de la municipalité, deux habitants de Saint Hilaire de Clisson présentent, à partir du 5 janvier, leurs collections privées de minéraux. À la maison des Rochettes, 500 spécimens seront visibles, accompagnés d'explications détaillées. Pour les profanes autant que pour les collectionneurs.



Lors de la présentation de l'exposition, en cours d'installation : (de gauche à droite) Alexandre Marchand (agent du patrimoine pour la ville), Nicole Denis (adjoite au Maire pour le patrimoine) . Gérard Mérand et Gérard Bertet.

L'exposition au parc des Rochettes, est encore visible jusqu'à dimanche

Yprésis draine plus de mille visiteurs

Environ 1100 personnes ont visité l'exposition consacrée au fleuve antédiluvien Yprésis à la Maison des Rochettes, depuis le 10 janvier. Les établissements scolaires notamment lui ont témoigné leur intérêt, puisque 13 classes soit 340 élèves, s'y sont rendues. L'exposition prend fin dimanche.



Ouest-France - mardi 3 février 2004.

Saint Philbert-de-Grand-Lieu

Fleuve préhistorique Yprésis : exposition inaugurée



L'exposition sur le fleuve Yprésis a été inaugurée en présence du découvreur du fleuve, Michel Chevalier, originaire de la Limouzinière, Yvonnick Gilet, Maire de St Philbert-de-Grand-Lieu et Louis Arrivé, président de l'Association Vendéenne de Géologie.

Vendée matin

