



## ST-PHILBERT- -DE-GRAND-LIEU

La carte géologique à 1/50 000  
ST-PHILBERT-DE-GRAND-LIEU est recouverte par les coupures suivantes  
de la carte géologique de la France à 1/80 000 :  
à l'ouest : NANTES - ILE-DU-PILIER (N° 117)  
à l'est : CHOLET (N° 118)

Paimbœuf	Nantes	Vallet
Machecoul	ST-PHILBERT- -DE-GRAND-LIEU	Clisson
Challans	Palluau	Montaigu

**CARTE  
GÉOLOGIQUE  
DE LA FRANCE  
A 1/50 000**

BUREAU DE  
RECHERCHES  
GÉOLOGIQUES  
ET MINIÈRES

# ST-PHILBERT- -DE-GRAND-LIEU

XII-24

*Lac de Grand-Lieu*

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE  
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES  
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL  
Boîte postale 6009 - 45060 Orléans Cédex - France



**NOTICE EXPLICATIVE  
DE LA FEUILLE  
SAINT-PHILBERT-DE-GRAND-LIEU  
A 1/50 000**

par Mireille TERS

*avec la collaboration de :* A. BAMBIER

J. CHANTRAINE

J.-J. CHÂTEAUNEUF

G. GODARD

Ch. GREBER

O. LIMASSET

J.-M. VIAUD

L. VISET

1982

# NOTICE EXPLICATIVE

## SOMMAIRE

INTRODUCTION .....	5
DESCRIPTION DES TERRAINS .....	5
<i>FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES.</i> .....	5
<i>ROCHES INTRUSIVES</i> .....	22
<i>FILONS</i> .....	26
<i>FORMATIONS PALÉOZOÏQUES.</i> .....	26
<i>FORMATIONS TERTIAIRES.</i> .....	29
<i>FORMATIONS QUATERNAIRES</i> .....	47
PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES .....	55
<i>REMARQUES SUR LES COMPLEXES BASIQUES ET ULTRA-BASIQUES DE LA</i> <i>BASSE LOIRÉ ET DE LA RÉGION DE SAINT-PHILBERT-DE-GRAND-LIEU</i> .....	55
<i>HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA CUVETTE DE GRAND-LIEU ET DATE DE SON</i> <i>EFFONDREMENT</i> .....	59
ARCHÉOLOGIE PRÉHISTORIQUE .....	61
RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS .....	61
<i>HYDROGÉOLOGIE.</i> .....	61
<i>HYDROLOGIE FLUVIALE</i> .....	63
<i>SUBSTANCES MINÉRALES</i> .....	64
<i>GITES MINÉRAUX.</i> .....	65
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE .....	65
<i>SITES CLASSIQUES ET ITINÉRAIRES</i> .....	65
<i>COUPES RÉSUMÉES DE QUELQUES SONDAGES</i> .....	66
<i>BIBLIOGRAPHIE</i> .....	73
<i>DOCUMENTS ET COLLECTIONS CONSULTABLES</i> .....	76
<i>ANALYSES CHIMIQUES.</i> .....	76
AUTEURS .....	79

**Note de l'éditeur.** — Les coordonnées du quadrillage kilométrique Lambert II étendu n'ont pas été portées sur la carte. Seules les amorces sont indiquées à l'intérieur du cadre. Le chiffrage en est le suivant :

— Y (du Sud vers le Nord) :	bordure ouest :	2 229 à 2 248
	bordure est :	2 227 à 2 246
— X (de l'Ouest vers l'Est) :	bordure sud :	286 à 312
	bordure nord :	287 à 313

## INTRODUCTION

La feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu s'étend sur une région basse, dont la surface est comprise entre le niveau de la mer et une cinquantaine de mètres d'altitude seulement. Le socle cristallin est constitué par des unités accolées et alignées en direction NW—SE, dans le prolongement de l'anticlinal de Saint-Nazaire. Ce sont, du Nord au Sud :

- la bande granitique Pointe du Raz—Nantes—Parthenay, cisailée en son milieu, à la suite de la Zone broyée sud-armoricaine;
- l'ensemble des micaschistes et des gneiss de Port-Saint-Père, à intercalations basiques et ultra-basiques;
- la pointe nord-occidentale du synclinorium de Chantonnay, qui sépare l'anticlinal de Montaigu de celui de Saint-Philbert;
- le sillon houiller stéphanien (de Port-Saint-Père à la Couëraitière), en direction du bassin carbonifère de Chantonnay;
- le horst gneissique de Saint-Philbert, à reliques éclogitiques;
- l'ensemble des micaschistes feldspathiques de la Turoillerie;
- la masse des porphyroïdes de la forêt de Machecoul;
- la bordure nord-est des micaschistes de Bois-de-Cené.

Le socle cristallin et sa bordure sédimentaire sont tranchés en diagonale, en direction NW—SE, par plusieurs grands accidents qui limitent des blocs disjoints, alternativement affaissés ou soulevés : horst de la forêt de Touffou, cuvettes de Grand-Lieu et de la vallée de l'Ognon, horst de Saint-Philbert, cuvettes de la Marne et du bassin de Machecoul; ces dislocations ont, à plusieurs reprises, rajeuni un relief dont la vigueur devait être encore moindre, à la fin du Crétacé et durant l'Eocène.

Le rabotage essentiel du socle remonte à la phase d'érosion post-hercynienne (préliasique), comme en Vendée littorale toute proche. Au Crétacé supérieur (Turonien—Sénonien), ce secteur fut au moins partiellement submergé. A la fin du Crétacé et au début de l'Eocène, l'action essentiellement chimique de climats latéritisants provoqua la dégradation lente de ces surfaces au relief très peu prononcé : le réseau des vallées actuelles, dense mais peu profond, était déjà parfaitement dessiné, comme en témoignent les nombreux restes de dépôts ilerdiens, pourvus d'une végétation luxuriante, qui suivent les méandres du réseau de vallées paléocènes.

C'est la mer pliocène qui fit la dernière retouche à l'élaboration du relief. Après avoir entièrement submergé le domaine de la feuille Saint-Philbert au maximum de la transgression, elle exerça un intense rabotage du socle, tout au long de sa régression. Toutes les parties du relief furent successivement placées dans la zone intertidale; les matériaux arrachés au socle s'accumulèrent dans les vallées, avant qu'une grande surface de remblaiement graveleuse ne recouvre le tout.

L'intense érosion régressive quaternaire, liée aux descentes répétées du niveau marin, envoya à la mer une partie des dépôts pliocènes; ceux qui se trouvaient dans la cuvette de Grand-Lieu furent protégés par son dernier effondrement (fini-pliocène ou quaternaire).

## DESCRIPTION DES TERRAINS

### FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES

ζ<sup>3γ</sup>. **Gneiss injecté de granite.** Au Sud de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, les gneiss, qui affleurent en une large bande de direction sud-armoricaine entre

Saint-Lumine-de-Coutais et Saint-Philbert-de-Bouaine sont localement traversés par de petites apophyses granitiques hectométriques (la Pironnière, le Granchamp, les Enfers, etc.). Le passage est progressif entre les deux faciès : le gneiss feuilleté  $\zeta^3$  à deux micas, qui se débite en plaquettes de quelques centimètres d'épaisseur, passe à une roche plus compacte, leucocrate et finement grenue, à structure équante (le Brûlot, la Guitardièrre). La limite entre le gneiss et le granite est trop floue pour avoir été tracée sur la carte; la muscovite, en paillettes millimétriques, se développe en tous sens dans la roche (le Plessis, la Touquetière).

L'introduction de silice dans la roche est localement importante : ainsi, à 300 m au Sud de la lentille d'éclogite du Chiron, le petit pointement de granite de la Pironnière est affecté par ce phénomène; la roche, à structure fine et grenue est lacérée par des veines, épaisses de 0,5 à 1,5 mm, constituées de quartz et de muscovite qui incorporent çà et là des éléments arrachés à la trame : lamelles de biotite ou grenats à inclusions de rutile. Il en est de même dans le petit pointement granitique de Sainte-Marie-des-Troissards.

$\zeta^3$  **Gneiss feuilletés.** —  $\delta^{11}$  **Amphibolites massives et prasinities.** —  $\delta_9^{11}$  **Amphibolites à grenats.** —  $\psi$ . **Éclogites.** (Socle métamorphique à reliques catazonales profondes). Au Sud et au Sud-Est du lac de Grand-Lieu, depuis la Garnerie en Saint-Lumine-de-Coutais jusqu'à Saint-Philbert-de-Bouaine, le socle métamorphique est constitué par une série gneissique très rétromorphosée ( $\zeta^3$  : gneiss feuilletés). Dans cette série, sont dispersées de nombreuses lentilles de roches basiques; cette association de gneiss feuilletés, d'éclogites et d'amphibolites se poursuit au Sud-Est (feuilles Palluau et Montaigu), jusqu'à Saint-Denis-la-Chevasse. Ce bloc appartient au « horst » Grand-Lieu—les Essarts—Mervent qui est limité, au Nord-Est, par la faille des Essarts que jalonne le sillon houiller stéphanien (h5) et, au Sud-Ouest, par une importante zone faillée à décrochement dextre. La foliation est généralement très redressée, avec des pendages de 60 à 80° vers le Nord-Est ou vers le Sud-Ouest, ou même verticale; mais des pendages subhorizontaux sont aussi observés çà et là. L'ensemble est déversé vers le Sud-Ouest et semble chevaucher la série des micaschistes  $\xi_a^2$ ,  $\xi_b^2$  et  $\xi_m^2$ , dont la sépare un grand accident accompagné d'une importante zone de broyage (le Maupas). Les plis sont peu apparents dans ces gneiss, à l'exception de petits plis couchés et d'ondulations tardives d'axe N 40 à 50° E, à flancs sud-est peu inclinés.

Rappelons que de telles formations à reliques catazonales profondes sont assez fréquentes dans la chaîne hercynienne d'Europe occidentale où on les appelle parfois « groupe leptyno-amphibolique ». Il en existe en Galice (cap Ortegal), dans le Massif armoricain (complexe de Champtoceaux, Vendée), dans le Massif Central (Limousin, haut Allier, monts du Lyonnais), dans les Vosges, etc. Les éclogites de la région et les roches qui leur sont associées présentent des analogies certaines avec les éclogites et les leptynites du Complexe de Champtoceaux, lesquelles forment un alignement continu depuis Campbon (feuille Savenay) jusqu'au Loroux-Botttereau (feuille Vallet).

Il convient de faire une nette distinction entre ce socle à éclogite et le socle métamorphique présent au Nord de la feuille, aux environs de Port-Saint-Père, Bouaye, Pont-Saint-Martin et Montbert. Les roches basiques de ce dernier ensemble sont des prasinities généralement sans grenat (sauf à Beaumanoir) et ne semblent pas posséder de reliques éclogitiques; elles sont, par contre, fréquemment associées à des serpentinites. Ce socle métamorphique, sans éclogite, pourrait être analogue à celui existant dans le Complexe de Champtoceaux et qui forme le groupe Oudon—la Boissière et la série du Havre (feuilles Ancenis à 1/80 000 et 1/50 000).

ζ<sup>3</sup>. **Gneiss feuilletés.** L'encaissant des éclogites et des amphibolites est constitué par des gneiss d'aspect très feuilleté. Ils sont principalement formés de biotite chloritisée, de mica blanc, de feldspath oligoclase et parfois potassique, de quartz et dans certains cas de grenat. Leur foliation, subverticale, moule les lentilles de roches basiques. L'aspect micaschisteux est imputable à une forte déformation accompagnée d'une rétro-morphose importante qui fait apparaître le mica blanc en abondance, essentiellement aux dépens des feldspaths. En raison de cette déformation et de l'altération très prononcée, les caractères originels de ces gneiss sont difficiles à préciser; on peut cependant en décrire quelques faciès typiques et intéressants :

● **Paragneiss.** Deux faciès sont étroitement associés : des métagrauwackes, en bancs ou en plaquettes épaisses de 2 à 10 cm, alternent avec des gneiss feuilletés très micacés (entre le Chiron et la Raingardièrre, au Sud des Troissards, à 300 m au Sud de la Moricière, à la Poterie, à la Sohérie, etc.).

Les métagrauwackes ont localement conservé un faciès détritique : les grains de quartz γ sont hétérométriques (de 50 microns à 1 mm) et irrégulièrement disséminés; ils constituent environ 50 % de la roche; les grains d'albite, maclée, peuvent atteindre 1 mm et ont une forme irrégulière, comme s'ils étaient cassés; la roche comporte de nombreux petits grenats et du sphène; la biotite, bien orientée, est abondante (100 m au Nord de la Poterie, le Petit Pailler, Saint-Symphorien).

Ces gneiss comportent localement un faciès très siliceux (gneiss leptyniques, ζ<sup>3λ</sup>), d'origine détritique, dans lequel le quartz forme jusqu'à 60 à 70 % de la roche [le Clos Lucas, l'Ebaupin, Saint-Sébastien (en Saint-Lumine-de-Coutais), la Biretière (en Saint-Philbert-de-Bouaine)]. Les grains de quartz, bien triés, de 300 à 500 microns, associés à de l'albite, forment un damier parsemé de fines paillettes de muscovite et de biotite; les grenats sont nombreux, mais petits; l'ilménite est parfois abondante (le Clos Lucas).

Les gneiss micaschisteux sont plus riches en biotite et surtout en muscovite. Ainsi, entre le Chiron et la Raingardièrre, le quartz se présente en grains ou en amandes polycristallines aplaties, ou en veines de 2 à 3 mm de longueur (pour 100 à 300 microns d'épaisseur). Les grains d'albite sont aplaties ou groupés en amandes, avec inclusions de quartz en gouttes. La biotite et la muscovite sont abondantes, disposées en minces lits ou disséminées en paillettes isolées; les grenats, de 100 à 500 microns, sont nombreux; le rutile et l'ilménite sont présents.

Aux épontes des lentilles d'éclogite (le Pied-Pain, la Compointrie, le Chiron, la Guitardièrre), on observe aussi des gneiss à grain fin et de véritables micaschistes à grenat, quartz, plagioclase, où les paillettes millimétriques de mica blanc sont très abondantes. Au Pied-Pain, le premier de ces faciès comporte du quartz en petits grains, de l'albite à fines macles polysynthétiques et à inclusions de quartz en gouttes; la muscovite est plus abondante que la biotite; le grenat atteint 1 mm; des grains de rutile, de sphène et d'ilménite sont groupés en nids; à 10 m à l'Ouest de l'éclogite, la roche est fortement laminée, ce qui entraîne une structure lenticulaire. A la bordure ouest du village du Chiron, une bande de gneiss intercalée dans l'éclogite est peu feldspathique : le quartz, qui forme 50 % de la masse, se présente en petits grains ou en tablettes très aplaties dont la longueur atteint le triple de l'épaisseur, ou en minces filonnets qui s'insinuent entre les plans de foliation; le mica blanc est très abondant, en paillettes alternant avec celles de biotite; le grenat, pourvu d'inclusions de quartz, atteint 1 mm; l'ilménite, le sphène et le rutile sont fréquents, accompagnés de zircon.

A 200 m à l'Ouest de la lentille d'éclogite, le gneiss est très feuilleté : la muscovite, en larges paillettes, est particulièrement abondante; le quartz, en

lentilles aplaties, forme 70 % de la roche; l'albite et la biotite sont rares, les grenats petits. A l'extrémité sud-est de cette lentille, la roche est injectée par des filonnets de quartz très aplaties qui se glissent entre les plans de foliation. Longs de 1 à 3 mm, ils sont épais de 200 à 500 microns; les phénomènes sont les mêmes, à la bordure nord-est de la lentille d'éclogite de la Guitardière; comme le quartz, le feldspath y est étiré en amandes.

Ainsi, les métagrauwackes et les gneiss feuilletés situés aux épontes des lentilles d'éclogite sont caractérisés par l'aplatissement des grains de quartz, témoins de fortes contraintes, par l'injection de filonnets de quartz qui s'insinuent entre les plans de foliation, et par un développement massif de muscovite, à éclat argenté.

• *Orthogneiss*. Ils sont formés de mica blanc, de biotite chloritisée fréquemment associée à du grenat microcristallin, de feldspaths potassiques parfois en grands cristaux étirés, de feldspath plagioclase damouritisé et de quartz. Les grains de feldspath et de quartz ont été étirés et forment une matrice microcristalline partiellement recristallisée. Ces roches peuvent être assimilées à d'anciens granites déformés; cette origine est attestée par certaines caractéristiques minéralogiques, en particulier l'existence locale de gros feldspaths potassiques à texture *rapakiwi*. La déformation est telle que la roche originelle devient souvent méconnaissable. Cependant, certains niveaux, moins déformés, ont pu être échantillonnés sur la feuille Palluau; on y observe des grenats réactionnels qui forment une fine couronne entre la biotite et le plagioclase (oligoclase), lequel recristallise alors, au niveau du contact, en une mosaïque d'albite microcristalline. L'apparition d'un tel grenat réactionnel, déjà observée dans le Complexe de Champtoceaux (granite granulitisé de la Picheraie), indiquerait l'existence d'un métamorphisme granulitique (de haute température). Postérieurement, la rétomorphose et la déformation ont, dans presque tous les cas, détruit cette texture réactionnelle en dispersant les couronnes de grenat.

*Note*. — La bande de Montbert, figurée en  $\zeta^3$  par erreur, est constituée par le leucogranite  $\gamma^1$ , fortement mylonitisé, à l'Est des serpentinites.

‡. *Éclogites*. Associées à des amphibolites à grenat, les éclogites forment des lentilles généralement décamétriques à hectométriques, parfois kilométriques, souvent disposées en essaims. Elles constituent des bandes discontinues orientées NW—SE entre Saint-Lumine-de-Coutais et Saint-Philbert-de-Bouaine et se prolongent au-delà de la limite sud-est de la carte, sur les feuilles Palluau et Montaigu, jusqu'à Saint-Denis-la-Chevasse. Éclogites et amphibolites résistent mieux à l'érosion que leur encaissant gneissique et se présentent souvent, de ce fait, sous forme de petites collines au relief arrondi fréquemment recouvertes de vignes. Les principaux gisements d'éclogites se situent à Saint-Lumine-de-Coutais (Saint-Symphorien, le Chiron, la Ringeardière), Saint-Philbert-de-Grand-Lieu (les Jamonnières, la Compointrie, le Pied-Pain, la Crespelière, la Dorie, Malville), Saint-Colomban (le Teurdeau, le Pay Richereau), Saint-Philbert-de-Bouaine (la Gerbaudière, de part et d'autre de l'Issoire).

On y observe souvent des rubanements qui consistent en une variation de la minéralogie (nature et taille des minéraux) : niveaux d'éclogite à gros grenats, à disthène, rubanements de grenatite à quartz, etc. Ce rubanement pourrait être interprété comme un héritage anté-éclogite ayant pour origine un éventuel rubanement du gabbro originel. Dans tous les cas il a été transposé parallèlement à une foliation sub-verticale bien marquée par l'aplatissement des cristaux de pyroxène; cette foliation est interprétée comme le résultat d'une forte déformation plastique lors du métamorphisme éclogitique.

Ces roches denses, de grain millimétrique à centimétrique, composées

essentiellement d'un grenat (almandin - pyrope - grossulaire) et d'un pyroxène sodique (omphacite) qui forme la matrice verte de la roche, contiennent très souvent du quartz et plus rarement du disthène ou de la zoïsite; le rutile, généralement microcristallin, est constant mais accessoire; sulfures, carbone, mica blanc et carbonate sont aussi accessoires et moins fréquents. Le grenat, en cristaux de 0,5 cm de diamètre en moyenne, présente souvent les formes géométriques du dodécaèdre rhomboïdal; dans de rares écloğites à disthène, la taille des grenats, qui sont alors xénomorphes, peut atteindre 5 cm (la Compointrie); d'autres écloğites (Saint-Philbert-de-Bouaine) possèdent des grenats millimétriques, fréquemment en atoll (leur coeur, évidé, est occupé le plus souvent par du quartz), et s'apparentent ainsi aux écloğites du type le Cellier (Y. Brière, 1920).

Les principales paragenèses primaires rencontrées sont :

- omphacite, grenat, disthène (la Compointrie),
- omphacite, grenat, disthène et quartz (la Gerbaudière, le Pied-Pain),
- omphacite, grenat, quartz (gisements précédents et autres gisements).

L'ensemble de ces roches a la composition chimique des gabbros de la série tholéitique. Les écloğites à disthène, peu abondantes, sont les plus magnésiennes (grenat jusqu'à 55 % de pyrope) et constituent les termes les moins différenciés de cette série. Au contraire, les écloğites à quartz sans disthène, très fréquentes, forment les termes les plus évolués avec notamment quelques gisements d'écloğites très ferrifères que l'on peut observer sur le territoire de la feuille Palluau.

Les écloğites résulteraient d'un métamorphisme anhydre et de haute pression (600 à 800 °C; pression minimale de 16 kb) ayant affecté des roches basiques ignées dont il ne reste ici aucune relique minéralogique. Toutefois, certaines textures (grenats groupés en nid d'abeille, grenats en atolls) peuvent être interprétées comme d'anciennes structures coronitiques transitoires entre gabbro et écloğite.

On peut parfois observer des intercalations centimétriques à décimétriques de roches d'origine incertaine dans les écloğites : petits niveaux de carbonate (le Teurdeau), feuilletés composés de quartz, plagioclase, phengite, disthène décimétrique, biotite, rutile (la Gerbaudière). Ces intercalations, parallèles au rubanement et à la foliation, sont probablement antérieures à la phase de déformation principale. D'autre part, de nombreuses intercalations de gneiss sont incluses dans les écloğites et sont généralement moins rétro-morphosées que les gneiss encaissants (effet de blindage ?).

Par rétro-morphose (en particulier par baisse de pression), les écloğites ont subi des transformations secondaires souvent incomplètes : formation de kélyphitoïde puis amphibolitisation. Le kélyphitoïde est constitué par une symplectite crypto- ou microcristalline, formée de clinopyroxène non sodique et de plagioclase, pseudomorphosant totalement ou partiellement l'omphacite primaire; parallèlement, le disthène, quand il existe, peut être remplacé par un assemblage rose à plagioclase et corindon puis, après hydratation, par de la zoïsite. L'amphibolitisation, postérieure à la kélyphitoïdisation, correspond à une rétro-morphose plus poussée et à une hydratation de la roche. Elle se traduit par une baisse de densité et par la perte de ténacité. Il s'agit de la formation de hornblende noire ou vert foncé à l'oeil nu et verte en lame mince. Cette amphibole, associée à du plagioclase, peut apparaître selon les modes d'occurrence suivants :

- en liséré symplectitique (kélyphite) autour du grenat par réaction de celui-ci avec le pyroxène;
- par transformation du kélyphitoïde en un fin assemblage de plagioclase et

d'amphibole qui tendent à recristalliser pour former de plus grands cristaux. La roche prend alors une teinte foncée;

— par croissance, dans la matrice de la roche, de cristaux d'amphibole millimétriques à centimétriques. Ceux-ci, en se développant essentiellement aux dépens du pyroxène, englobent les grenats, lorsque ceux-ci sont petits, et deviennent alors poeciloblastiques.

Lors de cette amphibolitisation, le rutile se transforme en sphène et la biotite peut accessoirement apparaître à partir de la phengite (la Gerbaudière, le Teurdeau).

Tous les intermédiaires peuvent être observés entre les écloğites non atteintes par l'amphibolitisation et les amphibolites à grenat ( $\delta_g^{11}$ ), indiquant ainsi que les secondes dérivent probablement des premières. Cette différence dans les degrés d'amphibolitisation peut être expliquée par des variations locales de  $\text{P}_{\text{H}_2\text{O}}$  lors de la rétro-morphose,  $\text{H}_2\text{O}$  étant nécessaire à la formation d'amphibole. Ce fait est confirmé par une amphibolitisation poussée autour de fractures qui ont pu permettre la circulation d'eau.

L'origine des écloğites fut longtemps très problématique. On les a souvent considérées comme des « monstres » n'ayant aucun lien avec leur encaissant gneissique : s'agit-il de gabbros métamorphisés *in situ* ou de roches profondes isolées tectoniquement au sein d'une croûte continentale ? On s'oriente actuellement, principalement en raison d'arguments géochimiques, en faveur d'une origine plus complexe : il pourrait s'agir de lambeaux d'une vieille croûte océanique dispersée tectoniquement dans une croûte continentale lors d'une orogénèse (hercynienne ?), après avoir subi un métamorphisme écloğitique lors d'un mécanisme de type subduction.

$\delta^{11}$ . **Amphibolites.** Les amphibolites à grenat  $\delta_g^{11}$  dérivent certainement des écloğites par rétro-morphose (voir précédemment). Elles sont souvent associées à ces dernières dont elle forment parfois l'écorce. Il s'agit généralement de roches à gros grain (millimétrique à centimétrique) formées d'amphibole calcique verte, de plagioclase (oligoclase), de grenat (almandin), de quartz et, accessoirement, de sphène avec parfois des reliques de rutile. Près de la Limouzinière, ces roches, très fortement rubanées, contiennent de la clinzoisite en abondance.

La rétro-morphose hydratée des écloğites peut conduire à la disparition totale du grenat. On obtient alors des amphibolites ( $\delta^{11}$ ) à amphibole, épidote abondante, plagioclase, quartz et sphène qui peuvent être associées aux écloğites et aux amphibolites à grenat.

A la limite sud-ouest du socle à écloğites, près du contact avec le Briovérien, on observe une bande assez continue constituée d'amphibolite sans grenat et de schistes à amphibole. Cette bande peut être suivie presque en continuité depuis la Sohérie en Saint-Lumine-de-Coutais au Nord-Ouest, jusqu'aux environs de Mormaison au Sud-Est (feuille Montaigu), en passant par Corcoué-sur-Logne et Rocheservière (feuille Palluau). Les amphibolites ne semblent y présenter aucune relique écloğitique et ont probablement une origine bien différente des amphibolites associées aux écloğites.

A l'Ouest de Saint-Lumine, les *amphibolites* comportent différentes paragenèses :

- *Les amphibolites massives à actinote bleu-vert, sans grenat*, ont le grain le plus grossier; les prismes d'amphibole, larges et trapus, couchés dans le plan de foliation, peuvent dépasser 1 mm de longueur. L'actinote, qui forme les deux tiers ou même les trois quarts de la roche, est accompagnée d'albite de même taille, maclée et à inclusions de quartz. Le rutile est abondant, avec un peu de sphène, d'ilménite, d'apatite et de clinzoisite (les Cherpelières).

● *Les amphibolites massives à grenat* forment une bande entre le Brandais, la Garnerie et le Plessis, dans le prolongement des amphibolites à grenat allant de la Compointrie à Saint-Lumine-de-Coutais. Ce sont des roches vert foncé, compactes, à foliation fruste; la trame, très finement grenue, est constituée d'actinote vert pâle à vert foncé, en petits grains accompagnés d'albite et d'un peu de quartz; elle comprend, en outre, de très nombreux petits grains courts ou allongés de sphène, de rutile ou d'ilménite (bordés ou non de leucoxène), ainsi que de petits amas de chlorite, mal orientés; la biotite est rare, en voie de chloritisation. Cette matrice est criblée de porphyroblastes de grenat, de 0,1 à 1 mm de diamètre, formant environ 50 % du volume de la roche; certains comportent des inclusions de rutile en aiguilles.

Autour des grenats existe une association coronitique, avec une couche interne d'épidote et une couche externe d'actinote fibreuse, en aiguilles perpendiculaires à la surface du grain de grenat. A la Garnerie, les porphyroblastes de grenat (1 mm) se trouvent à différents stades de rétro-morphose : ou bien ils sont entourés d'une couronne de clinozoïsite, d'actinote et de chlorite, ou bien il subsiste un résidu central entouré de clinozoïsite, ou bien le remplacement du grenat par la clinozoïsite est total, et l'actinote se moule sur elle.

Les grenats sont fréquemment encadrés par des « queues » de cristallisation, formées en ombres de pression, dans lesquelles l'actinote est orientée dans la direction de l'éirement maximum. Le faciès est localement mylonitique et les fissures des grenats sont remplies par de l'actinote.

La grande abondance des grenats, la présence de nombreuses aiguilles de rutile à l'intérieur de ces derniers, l'existence d'inclusions de quartz dans le grenat et le développement de l'amphibole autour des grenats suggèrent une origine éclogitique de la roche.

● *Les amphibolites massives à actinote, clinozoïsite et grenat.* Autour du Brandais, la foliation est déterminée par la disposition litée de l'actinote, aciculaire, dans une trame finement grenue où la clinozoïsite domine, accompagnée de grenat, de sphène, d'apatite et de zircon.

Des grenatites, en couches épaisses de quelques centimètres, sont intercalées dans les amphibolites (le Brandais). Dans une trame de quartz grenu, disposé en damier, on observe un semis de grenats de 0,2 à 1 mm de diamètre, parfois jointifs; ce minéral peut former 75 % de la masse; la roche comporte, en outre, rutile, actinote, clinozoïsite et chlorite. De telles concentrations de grenat sont connues, en association avec les faciès éclogitiques.

Des tufs acides-basiques, rubanés ou lités, sont intercalés dans les faciès précédents (amphibolites massives ou prasinites) ; ils comportent des alternances de lits leucocrates et de lits verdâtres à paragenèses et à structures variées, en particulier des tufs à disthène et grenat (le Brandais, la Garnerie, le Plessis) : les lits leucocrates, d'épaisseur centimétrique, sont formés par une mosaïque de quartz et d'albite maclée, en grains de 200 à 500 microns, avec de longs prismes de disthène, couchés dans le plan de foliation (altérés en muscovite à la périphérie). Du grenat, porphyroblastique, est étiré; on trouve, en outre : actinote, clinozoïsite, sphène, rutile, zircon, biotite. Les lits verdâtres comprennent de l'actinote, disposée en lits, des grenats, avec épidote, clinozoïsite, sphène, ilménite, quartz, albite, biotite et muscovite. Le grenat peut atteindre le tiers du volume de la roche. Les lits mixtes ont une trame quartzeuse criblée de grenats de 0,2 à 2 mm, allongés, avec un peu de disthène et de biotite.

Des niveaux leucocrates, en bancs minces, sont aussi intercalés dans les prasinites, au Brandais; par leur structure microgrenue à porphyroblastes

d'albite et par leur composition chimique (forte teneur en silice et en soude, très faible teneur en potasse), ces roches leucocrates sont de véritables *kératophyres* (analyses chimiques n° 59 et 60).

ξ<sup>2</sup>. **Micaschistes et gneiss plagioclasiques de Port-Saint-Père à deux micas.** g : grenat; ch : chloritoïde; δ<sup>11</sup> : prasinites; δ<sub>g</sub><sup>11</sup> : amphibolites à grenats; σ : serpentinites partiellement silicifiées.

● **Répartition.** Cet ensemble s'étend sur les bordures ouest, nord-ouest, nord et est de la dépression de Grand-Lieu et comporte une association de roches acides (métagrauweekes et gneiss finement ocellés) et de roches basiques et ultra-basiques (amphibolites, prasinites, tufs acides-basiques, serpentinites et schistes à anthophyllite).

La continuité éventuelle de la formation de Port-Saint-Père avec celle de la Garnerie et de Saint-Lumine-de-Coutais est masquée par les intrusions de l'orthogneiss γ<sup>3</sup>ζ (le Port-Faissant, le Surchaud, la Hubinière) et du granite gneissique blastomylonitique de Chappe; mais elle est suggérée par de nombreux pointements résiduels de roches basiques (la Bafferie).

Au Nord et à l'Est, ces terrains sont mal connus en raison de l'épaisse couverture pliocène: les affleurements sont rares, avec prédominance de prasinites au Nord (les Bauches-du-Désert) et de serpentinites à l'Est (le Landais, Montbert).

● **Complexe des roches acides.** Il s'étend sur la bordure nord-ouest et nord du lac, entre Saint-Mars-de-Coutais et la Ville-au-Denis, où il est associé aux prasinites et aux serpentinites. Il comprend des roches claires, à débit en feuillets, dont la surface luisante est couverte de pustules feldspathiques millimétriques. On peut y distinguer: un faciès massif à grain fin et structure microgrenue, des faciès gneissiques finement ocellés et des faciès micaschisteux ou tuffacés.

*Le faciès massif porphyrique* est localisé à la Bernerie, sur la rive ouest de l'Acheneau. Les phénocristaux de quartz et d'albite sont englobés dans une pâte extrêmement fine, essentiellement constituée de séricite, de biotite et de chlorite, parsemée de rares petits grains de quartz et d'albite de 10 à 200 microns de longueur; une disposition gneissique se développe localement, avec alternance de lits micacés et quartzo-feldspathiques, d'épaisseur inférieure à 1 mm. Les porphyroblastes d'albite noyés dans cette trame ne sont pas maclés ou n'ont qu'une macle simple. Très étirés, ils atteignent 0,3 à 3 mm de longueur, mais leur épaisseur est 4 à 6 fois moindre. De forme en amande effilée aux extrémités, ils se terminent par des queues très aplaties, cristallisées en ombres de pression, remplies de quartz et de chlorite. Ils comportent de nombreuses inclusions de quartz, arrondies ou très aplaties: dans ce cas, les lamelles sont 6 à 10 fois plus longues qu'elles ne sont épaisses; elles peuvent être empilées au nombre d'une vingtaine dans l'épaisseur du grain d'albite; ces lamelles sont généralement parallèles au plan de foliation de la roche, mais il arrive que, le porphyroblaste ayant tourné, leur orientation actuelle soit oblique ou même perpendiculaire au plan de schistosité. Ils contiennent aussi de petits grenats intacts ou chloritisés, du rutile, des fragments de biotite et de la matière graphiteuse.

Les porphyroblastes de quartz sont beaucoup moins nombreux que ceux d'albite; de même taille que ces derniers, ils se terminent par des queues effilées de quartz mylonitique.

La foliation de la roche est due à la disposition litée des micas, à l'aplatissement des porphyroblastes, ainsi qu'à l'existence de minces filons de quartz mylonitique et fluidal, injecté entre les plans de schistosité.

Dans ce faciès massif, la cataclase est intense : les grains d'albite sont cisailés transversalement et parfois éparpillés dans le sens de l'éirement maximal ; les micro-faillés sont cicatrisés par du mica blanc, de la chlorite ou de la biotite. Le quartz est à extinction roulante, ou même fluidal. La structure est localement bréchique.

*Faciès gneissiques oeillés.* A l'Ouest et à l'Est de Port-Saint-Père, la foliation de la roche est plus développée et le caractère blastomylonitique plus accentué ; la roche se débite en plaquettes à surface micacée et à reflets argentés, boursoufflée de pustules (la Bernerie, Grandville, la Lucerie, la Boulaye, la Laurière, la Grande Etourmière). Dans une mésostase grano-lépidoblastique constituée de quartz, d'albite, de muscovite, biotite ou chlorite, sont inclus de très nombreux porphyroblastes d'albite et quelques-uns de quartz. Les premiers se présentent en amandes très étirées et aplaties, parfois jointives, superposées les unes aux autres, ou disposées en boudins dans un même lit. Longues de 1 à 2 mm, parfois 4 mm (la Lande, la Laurière), elles ont une épaisseur 3 à 6 fois moindre ; elles peuvent former 50 à 65 % de la roche (le Brandais, Herbauges). L'amande d'albite est monocristalline, soit avec une simple macle, soit avec de nombreuses macles polysynthétiques.

Malgré quelques exceptions, les porphyroblastes renferment de nombreuses inclusions :

- du quartz, en grains ou en minces tablettes parallèles à la foliation,
- des grenats, de 20 à 150 microns de diamètre (intacts ou chloritisés) : un porphyroblaste peut en contenir une centaine, dispersés ou groupés en nids, souvent à la périphérie,
- des grains de rutile, de leucoxène, d'ilménite et parfois un peu de muscovite et de biotite. Lorsque la roche renferme de la matière graphiteuse, celle-ci est refoulée à la périphérie. On observe localement de la très fine myrmékite au contact du quartz et de l'albite. Les « queues » formées aux extrémités des amandes sont remplies de quartz, d'albite et de biotite ; elles peuvent atteindre 2 mm de longueur. Lorsque les inclusions de quartz sont très nombreuses, le feldspath interstitiel qui les englobe se développe en réseau d'orientation uniforme et l'individualisation des « yeux » tend à être moins nette. La structure de la mésostase est grano-lépidoblastique ; les lits de muscovite et de biotite, formés de lamelles entremêlées, sont plus largement cristallisés et plus épais que dans les faciès massifs ; leur épaisseur varie de 0,1 à 1 mm ; ils se moulent sur les porphyroblastes en amandes. Les plans de foliation de la roche sont localement décollés et injectés par des lames de quartz mylonitique de 0,5 mm d'épaisseur, englobant de très fines paillettes de biotite. La tourmaline, brun verdâtre, est présente. Ce faciès semble dériver du faciès microgrenu massif par développement de la structure gneissique.

*Faciès micaschisteux et tuffacés à contenu détritique.* Des métatufs acides existent au voisinage des prasinites ; au cimetière de Port-Saint-Père, la roche contient de nombreux grains de quartz et d'albite millimétriques, brisés et d'aspect détritique, répartis dans la roche de façon anarchique. A 300 m à l'Est de l'église, la structure est celle d'un grès siliceux à ciment micacé : les grains de quartz forment 50 % du volume ; ils sont hétérométriques et disposés en désordre dans une matrice à deux micas, orientés, en lits ou en réseau. Aux Planchettes (à l'Est des Durandières), les lits micacés, épais de 1 mm, enserrant des éclats très aplatés de quartz qui pourraient provenir de remaniement de rhyolites. A 300 m au Nord-Est de la Lande et à 500 m au Sud de la Boulaye, on observe une métagrauwacke constituée par des grains de quartz et d'albite hétérométriques (0,1 à 0,7 mm), à contours très anguleux, disposés en tous sens et répartis de façon désordonnée. Des petits zircons, d'aspect détritique, sont groupés en nids. La matrice, à deux micas, est peu abondante.

*Origine de ces faciès.* Sur le terrain, il est clair que le passage est progressif entre le faciès massif de la Bernerie et les gneiss feuilletés et oeilés qui les encadrent. De structure microgrenue et porphyroblastique, le faciès massif et les gneiss oeilés se présentent comme des roches éruptives acides métamorphiques. En effet, dans les amandes albitiques, on observe des résidus d'albite primaire finement maclée, nébuleuse, déchiquetée, formant un réseau d'orientation uniforme. Ces résidus et les inclusions mentionnées sont englobés dans un porphyroblaste secondaire, limpide, de même orientation que les résidus : les phénocristaux de feldspath primaire ont contribué à la formation des porphyroblastes d'albite, lors de la recristallisation métamorphique de la roche.

L'analyse chimique des roches de faciès massif et des gneiss oeilés permet de les considérer comme des tufs acides, formés à partir de matériaux cristallins remaniés (analyses chimiques n° 174 bis et 149).

A l'Est de Pont-Saint-Martin, les prasinites sont bordées par des gneiss albitiques dans lesquels l'albite peut former jusqu'à 75 % de la masse, en petits grains accolés de 0,5 à 2 mm, séparés par du quartz interstitiel; le zircon est abondant, les micas presque absents (la Planche au Bouin). A la Grande Etourmière, la roche, litée et à structure glanduleuse, est plus riche en muscovite et en biotite (chloritisée), disposées en lits, qui moulent de nombreux cristaux d'albite, non maclée ou à macles simples, globuleux ou en amandes de 1 à 2 mm de longueur, prolongées par des queues de quartz et d'albite et presque jointives dans un même lit. Cette albite comporte fréquemment des inclusions de quartz ou est lacérée par des filonnets qui ne laissent subsister que des lambeaux du grain originel.

Dans l'angle nord-est de la feuille, les micaschistes  $\xi^2$  comportent plusieurs faciès :

- A la limite nord-est du granite  $\gamma^1$  [qui passe en réalité des Faux (à l'Ouest) vers la rive sud de la Maine (à l'Est)], on peut suivre une formation de grès siliceux et de quartzite, épaisse de plusieurs mètres (la Cave, l'Endruère, les moulins de Portillon) : le grain est plus ou moins fin, disposé en mosaïque et piqué de granules ferrugineux, d'un peu de biotite et de muscovite, ainsi que de tourmaline.
- Des micaschistes à muscovite, à éclat argenté, accompagnés de grenats de plusieurs millimètres, pourvus de « queues » remplies de quartz, sont plaqués contre ces grès (l'Endruère, les moulins de Portillon).
- A la Bourrelière, à la Haudrière et à la Bastière, la masse des micaschistes est constituée de quartz, d'albite, de biotite (chloritisée ou non) et de muscovite, parfois accompagnée de petits grenats. Localement affleurent des niveaux riches en grosses albites étirées en amande, groupées en lits séparés par des lits phylliteux. Ce faciès est identique à celui qui a été décrit à l'Ouest de la feuille, à l'Est et à l'Ouest de Port-Saint-Père, ainsi qu'à l'Est de Pont-Saint-Martin (la Grande Etourmière). De tels niveaux riches en cristaux globuleux d'albite sont fréquents dans les micaschistes de Saint-Sébastien, de Vertou, de Basse-Goulaine et de l'Embrouil (feuille Nantes à 1/50 000). Ils sont situés à proximité des prasinites, comme les micaschistes analogues de la nappe de Champtoceaux (feuille Ancenis).
- Des leptynites constituent la butte 41, au Nord des Thébaudières.

*Intérêt des niveaux de gneiss albitiques de la formation  $\xi^2$ .* Longuement décrits à l'Ouest et à l'Est de Port-Saint-Père (la Bernerie), à Pont-Saint-Martin et à Portillon, ces gneiss lités peuvent donc être interprétés, selon les faciès, comme des métarhyolites (la Bernerie, la Planche au Bouin) ou des métagrauwackes albitiques, alternant avec des lits plus phylliteux, gréso-péliteux.

En dehors du territoire de la feuille Saint-Philbert, la répartition de ces

formations paléo-volcaniques est très étendue : elles ont été décrites sur la feuille Nantes (Saint-Jean-de-Boiseau, la Matrasserie, Saint-Sébastien, Basse Goulaine, Sainte-Luce, Carquefou); à l'Est, elles sont abondantes dans la région de Thouarcé; elles constituent une partie importante des micaschistes de Mauves et des micaschistes du Havre et de ceux du groupe de Drain—la Boissière (feuilles Ancenis à 1/80 000 et 1/50 000). Au Sud (feuilles Challans et Palluau), des gneiss albitiques identiques forment des bancs au sein du complexe de Bois-de-Cené (la Platrelle, la Poinière, la Brosse), au voisinage de prasinites et d'amphibolites à glaucophane. Des faciès identiques ont été décrits plus à l'Ouest : à Piriac et en de nombreux points le long de la côte méridionale de la Bretagne (estuaire de la Vilaine, île de Groix, complexe basique d'Audierne). Presque toujours associés à des roches basiques (amphibolites, prasinites, serpentinites), ils constituent donc un important repère stratigraphique, dans les terrains briovériens.

$\xi_{\text{ch}}^2$ . *Micaschistes à chloritoïde*. En bordure nord de la feuille, ils sont intercalés entre deux masses de prasinites, au Sud-Ouest de la Ville-au-Denis; au carrefour (cote 18), on observe successivement, d'Ouest en Est, sur la route du château de Bougon :

- sur 15 m, des micaschistes un peu graphiteux à muscovite argentée, à baguettes de chloritoïde et de biotite, faiblement inclinés au Nord-Est;
- sur 5 m, des micaschistes noirs, très graphiteux, à muscovite, chloritoïde et grenats;
- sur 2 m, un filon de kersantite;
- sur 4 m, des micaschistes à muscovite, chloritoïde, grenats, épidote et actinote.

Au Sud, ils reposent sur les prasinites feuilletées des Bauches-du-Désert.

Les lits de muscovite sont criblés d'impuretés graphiteuses et alternent avec des lits à chloritoïde. Les grenats sont parfois terminés, aux extrémités, par des « queues » de biotite verdâtre. L'épidote est abondante, en fins granules, accompagnée d'un peu d'actinote, de rutile et de tourmaline.

Ces micaschistes sont fortement plissés : entre des lits restés planaires s'intercalent des lits à plis couchés centimétriques, avec charnières arrondies ou aiguës; les têtes de plis sont parfois surépaissies, alors que les flancs sont étirés et amincis. Par lamination des plis couchés se forment des structures en amandes et en rouleaux. Le chloritoïde et la muscovite sont entraînés dans tous les replis, comme les lits de matière graphiteuse. Les grenats sont fissurés et basculés.

A la Ville-au-Denis, les micaschistes à chloritoïde sont associés à des micaschistes albitiques et à des prasinites, dans le prolongement de la bande de serpentinites de la Ville-au-Vay et du Margat.

A l'angle sud-ouest de la feuille, au Bois-Grassin, à l'Espérance et au Grenit, existent des micaschistes graphiteux à muscovite, chloritoïde en prismes allongés et très nombreux grenats. Comme à la Ville-au-Denis, ils sont affectés par de petits plis couchés. Vers le Sud-Est, les micaschistes à chloritoïde affleurent tout le long de la vallée du Falleron, sur la rive gauche (la Maquinière, Paulx, la Roustière, la Martinière, feuille Palluau) : les micaschistes du Bois-Grassin font partie du complexe de Bois-de-Cené constitué de micaschistes à muscovite, de gneiss albitiques, de prasinites et de serpentinites, où existent quelques gisements de glaucophane.

La présence de micaschistes à chloritoïde dans certains niveaux-repères alumineux au sein du complexe de gneiss albitiques et de prasinites permet de rapprocher encore davantage les formations  $\xi^2$  des micaschistes des groupes de Mauves, du Havre et de Drain—la Boissière (feuilles Ancenis à 1/80 000 et 1/50 000).

● **Complexe des roches basiques, acides-basiques et ultra-basiques.** Il comprend une association de roches éruptives et de métasédiments : amphibolites, prasinites, tufs acides-basiques, ainsi que des serpentinites et des schistes à anthophyllite.

*Amphibolites à grenat.* A Beaumanoir, au Sud-Est de Port-Saint-Père, on observe des porphyroblastes d'actinote, trapus ou allongés, de clinozoïsite et de grenat (1 à 3 mm) dans une trame très fine d'actinote, avec rutile, sphène, ilménite, quartz et albite. Les grenats comportent des inclusions de quartz, de sphène, d'actinote et d'albite. Ces faciès rappellent tout à fait ceux des élogites amphibolitisées de la Compointrie ou du Chiron. Autour des Rembergères, le grain est très fin ; l'actinote, bleu-vert, en grains trapus de 200 à 400 microns de longueur, constitue les trois quarts de la roche ; la matrice est faite de grains de clinozoïsite, de sphène, d'ilménite. Près de Nozine, l'actinote atteint 3 mm de longueur et elle est associée à un peu d'albite et de sphène.

*Amphibolites massives à actinote et albite, sans grenat.* Les trois quarts de la roche sont constitués de prismes trapus d'actinote vert pâle de 1 à 2 mm, enserrant des grains d'albite, de sphène, d'ilménite, de rutile, de clinozoïsite (Port-Saint-Père, les Rembergères, le Grand Moulin).

*Les prasinites schisteuses* sont verdâtres, à surface satinée et à débit en plaquettes. La structure est grano-lépidoblastique. De l'actinote aciculaire, vert pâle ou bleu-vert, forme environ la moitié du volume, en lits épais de 100 à 300 microns ; elle est accompagnée de clinozoïsite en fins granules (20 à 50 microns), de sphène, d'ilménite, de muscovite, de biotite et de chlorite. Le quartz et l'albite forment de minces lits et de courtes lentilles se terminant par des queues de quartz. L'albite se présente aussi en lattes de 1 mm de longueur, maclées (les Grandes Rembergères, la Bernerie, Bouaye, la Piogerie).

*Des tufs acides-basiques* sont intercalés dans les faciès précédents. A la Petite Pelletanche, la prasinite est recouverte par des couches de tufs acides, épaisses de quelques centimètres à quelques décimètres, riches en phénoclastes d'albite, isolés ou groupés en amygdales. La roche comporte des lits épais de 1 à 2 cm, alternativement clairs et verdâtres (les Granges, les Rembergères, la Donnarderie, la Maison Poitard). La roche est massive lorsqu'elle est seulement quartzo-albitique, ou rubanée lorsqu'elle renferme des minéraux calciques (grenat, actinote, clinozoïsite) et des micas, en lits épais de 1 à 2 cm, alternativement clairs ou verdâtres. Les lits clairs ont une granulométrie hétérométrique et une structure désordonnée : des phénoclastes d'albite millimétrique, brisés et incomplets, provenant vraisemblablement du remaniement de laves acides, sont inclus dans un ciment de quartz et d'albite, accompagnés d'amphibole brun clair (les Rembergères) ou de très fines aiguilles d'actinote, avec grenat, clinozoïsite, apatite, sphène, muscovite et chlorite (la Pelletanche, la Bourgeoiserie, Valliers). Les porphyroblastes d'albite, d'aspect cassé, sont parfois recristallisés à la périphérie ; ils peuvent former 50 % de la roche et renferment des inclusions de grenat et de clinozoïsite. Les lits verdâtres sont riches en actinote bleu-vert, en prismes allongés ou trapus, en aiguilles ou en granules, dans une trame quartzo-albitique, avec grenat, clinozoïsite, sphène, ilménite. L'actinote renferme parfois beaucoup de clinozoïsite. A la Bourgeoiserie, les lits clairs comportent essentiellement de l'albite (les trois quarts du volume), avec quartz, actinote et sphène ; les lits verts sont formés de prismes allongés d'actinote (1 à 2 mm), associés à un peu de sphène. A l'Épine Verte, en Bouaye, on observe des lits quartzo-albitiques alternant avec des lits de granules de clinozoïsite et de grenats, et des lits micacés riches en biotite.

Ces tufs lités, diversement pourvus d'éléments basiques et contenant de

nombreux fragments brisés d'albite; pourraient résulter du remaniement de coulées acides et de coulées basiques, situées à proximité les unes des autres.

*Serpentinites.* Des petits massifs de serpentinites sont intercalés dans les prasinites à l'Ouest de Saint-Mars-de-Coutais et au Nord-Ouest de Saint-Lumine, mais la mauvaise qualité des affleurements ne permet pas de délimiter exactement leurs contours. Leur présence est révélée par l'abondance des cailloux volants à la surface des terres. Un autre pointement existe aussi à Passay sur la bordure est du lac. Enfin, sur la rive ouest de l'Ognon, une série d'affleurements, émergeant de la couverture pliocène, révèle la présence de masses de serpentinites, probablement importantes.

— Gisements de Saint-Mars-de-Coutais. En grande partie masquées par des terrains superficiels, les serpentinites semblent former quatre bandes :

- à la Bonhommerie,
- des Rembergères à la Gandonnerie,
- du Brandais à la Donnarderie,
- au Courroucé.

A la Bonhommerie, la trame est constituée par de l'antigorite en fibres entrecroisées qui dessinent une structure maillée. De la magnésite remplit des fissures et tapisse des géodes. De la trémolite, fibreuse, couchée dans les plans de foliation, est dispersée dans l'antigorite; de la magnétite secondaire dessine un fin réseau. La roche est partiellement silicifiée, avec des géodes tapissées de calcédoine et de quartz (le Courroucé, la Bonhommerie).

— Gisement de la Tancherie à la Guibretière (au Nord-Ouest de Saint-Lumine). Entre le Plessis et la Pommeraie s'élève une butte de serpentinite orientée NW—SE; la roche est presque entièrement silicifiée, avec calcédoine en rubans, à structure fibro-radiée. Des schistes à anthophyllite lui sont associés.

— Gisements de Passay. En partie masquée par le Pliocène, la serpentinite affleure autour du moulin; elle est associée à des prasinites et à des schistes albitiques, et partiellement silicifiée.

— Gisements de Montbert. Au Sud de Montbert, les serpentinites affleurent largement au-delà des limites figurées sur la carte, en particulier à l'Est de la Pommeraie, au moins jusqu'au carrefour situé à 700 m au Nord de la Foye, où elles forment une butte. La roche est sombre, verdâtre, à grain très fin et constituée d'antigorite maillée dont la disposition est soulignée par de la magnétite et de la limonite. Les veines de chrysotile sont nombreuses. Dans les fragments épars à la surface de la butte, on peut observer de grands cristaux d'actinote et des enduits de trémolite blanche qui tapissent les surfaces de cassures. Sur la butte de la Pommeraie, la serpentinite est sillonnée par des veines et des filons ramifiés de calcédoine, d'agate et de jaspe, et partiellement silicifiée. Ces faciès sont identiques à ceux de la région de Saint-Mars-de-Coutais et de la Ville-au-Vay. A Fouinard, d'importants filons de quartz traversent la serpentinite. A l'Ouest, ces affleurements disparaissent sous les sables pliocènes (insuffisamment représentés sur la carte); à l'Est, ils sont bordés directement par le granite feuilleté dont les sépare un accident important, jalonné de mylonites (ce granite  $\gamma^1$  a été figuré en gneiss  $\zeta^3$  par erreur). Il faut rattacher à l'ensemble de ces gisements ceux qui se trouvent au Nord et au Nord-Est de la carte, sur la feuille Nantes à 1/50 000 : à la Ville-au-Vay et au Margat (Sud du Pellerin), et à Vertou. Leur trait commun est l'association de serpentinites avec des amphibolites, des prasinites et des micaschistes albitiques, à faciès finement oeilé : Saint-Jean-de-Boisseau et la Matrasserie, au Nord-Ouest; Saint-Mars-de-Coutais et le Brandais, à l'Ouest;

Vertou, au Nord-Est; Montbert, à l'Est (Mettreau). Tous ces gisements de serpentinites sont situés dans une zone de métamorphisme peu intense (faciès schistes verts), à la différence de ceux de la région de Paimboeuf qui sont situés dans la partie la plus métamorphique de l'anticlinal de Saint-Nazaire, largement affectée par l'anatexie (le Terre Casso) et au voisinage d'un autre complexe acide-basique : le complexe leptyno-amphibolique de Paimboeuf ( $\zeta\lambda\delta^{11}$ ). Aux environs de Bouaye, des haches en serpentinite ont été utilisées au Néolithique, en raison de la ténacité particulière de la roche.

*Schistes à anthophyllite.* Quelques gisements, associés aux serpentinites, sont situés à l'Ouest de Saint-Mars-de-Coutais (le bois du Bain, à l'Ouest de la Donnarderie) et à l'Ouest de Saint-Lumine (entre le Plessis et la Pommeraie).

Au bois du Bain, la roche est massivement constituée par de l'anthophyllite, en grands cristaux fibreux couchés dans le plan de foliation; des lamelles de phengite et quelques cristaux de feldspath maclé lui sont associés; la magnétite est abondante.

A la Pommeraie, la roche est traversée par des veines de quartz et de calcédoine et la silice pénètre dans la roche entre les plans de foliation; la silicification est parfois presque totale.

• **Faciès métamorphiques et phénomènes de rétro-morphose.**

L'ensemble de ces roches est affecté par un métamorphisme de type barrowien (moyenne température, moyenne pression), à la limite du faciès schistes verts et du faciès amphibolite. Certains minéraux paraissent être des *reliques* indiquant que ces roches ont subi, avant de parvenir à leur état actuel, un métamorphisme plus intense : ainsi, le disthène qui est en partie rétro-morphosé en muscovite. Il faut noter aussi l'abondance du rutile, normalement associé aux roches de haute pression, qui coexiste avec le sphène dans de nombreux échantillons et qui est parfois en inclusions dans les porphyroblastes d'almandin (le Brandais). La hornblende est rétro-morphosée en actinote, prismatique ou aciculaire; le grenat est fréquemment chloritisé, et la biotite presque toujours.

Certaines amphibolites, criblées de grenat (le Brandais, la Garnerie, Beaumanoir) rappellent le faciès des amphibolites à hornblende  $\lambda\gamma^{11}$ , liées aux gneiss  $\zeta^3$ , qui paraissent elles-mêmes dérivées de faciès éclogitiques (Saint-Lumine-de-Coutais, la Limouzinière). La rétro-morphose serait due à une baisse de la température et de la pression, accompagnée d'une hydratation des minéraux, dans des conditions épizonales.

• **Phénomènes tectoniques. Plissements.** Faute d'affleurements suffisants, seuls des plis à l'échelle de l'échantillon ou de la plaque mince ont pu être observés :

- des plis couchés P2, à plan axial horizontal, dans des tufs à chlorite, albite et sphène (Valliers),
- des microplis millimétriques, de plan axial oblique sur la foliation (Nozine),
- des plis ouverts à plan axial vertical (Valliers).

Le métamorphisme correspondant aux plis P2 a été accompagné d'un étirement et d'un aplatissement intenses; les porphyroblastes d'albite sont encadrés par des « queues », formées en ombres de pression et remplies de quartz, d'albite et parfois de micas; les queues des grenats sont remplies d'actinote et de clinozoïsite (le Brandais). Les grenats étirés sont tronçonnés en plusieurs morceaux, reliés par de l'actinote aciculaire (le Brandais, la Garnerie). Dans les amphibolites, on observe des structures noduleuses d'étirement.

*Ecrasement et laminage.* La cataclase est particulièrement intense de part et d'autre de l'Acheneau (Grandville, les Salettes), à la Jolennerie, et du Port-

Faissant à la Guibretière. Au Sud-Est de Grandville (la Bernerie), la rhyolite est écrasée, les porphyroblastes d'albite sont émiettés et éparpillés en désordre dans une matrice fluidale de quartz et de micas écrasés. A la Jolennerie, la prasinite a une structure bréchique; les fragments d'actinote et d'albite sont tordus, brisés et forment un puzzle lié par du quartz mylonitique. Les fragments de feldspath sont boudinés en chapelet. A la Jutière et aux Salettes, l'amphibolite a une structure en mortier, avec des résidus de clinzoïsite et d'actinote dans une trame verdâtre. Des lentilles et des lits de quartz mylonitique, épais de 100 à 300 microns, sont injectés entre les plans de foliation.

$\xi_{6m}^2$ . **Micaschistes et gneiss de Sainte-Pazanne, à deux micas et grenats en plaquettes.** Dans cette roche finement feuilletée, la muscovite est plus abondante que la biotite et celle-ci est en grande partie chloritisée. Le quartz est abondant, aplati, en grains disséminés de taille inégale, ou groupé en lentilles très aplaties longues de 1 mm et épaisses de 0,1 mm, coincées entre les lits phylliteux. L'albite est petite, souvent aussi très aplatie, à macles polysynthétiques; le leucoxène est concentré en lits. L'ensemble est criblé de grenats petits (0,05 mm), mais très nombreux. L'assemblage minéral de ces métagrauwackes est le même que celui des gneiss albitiques  $\xi_a^2$ , mais ici le grain est plus fin, les grenats plus petits et la biotite moins abondante (l'Hermanderie, le Pas, sous les colluvions Cs).

$\xi_a^2$ . **Micaschistes et gneiss albitiques fins à deux micas (g : grenat).** Cette formation de métagrauwackes s'étend du Nord-Ouest au Sud-Est, au Sud du grand accident qui longe le bord méridional du feuillet d'orthogneiss  $\gamma^{3\zeta}$ . Au contact de celui-ci, elle est localement très écrasée (le Grand Poirier). La roche se débite en plaquettes épaisses de 1 à 3 cm, à structure tantôt grenue (à quartz et albite dominants), tantôt feuilletée, avec alternance de minces lits micacés et de lits quartzo-feldspathiques. La surface des plaquettes est tapissée de paillettes de muscovite. Des niveaux graphiteux y sont intercalés localement (la Gilarderie, la Turoillerie, la Guérie). Le quartz forme environ 50 % de la roche, en grains très aplatés dont la longueur dépasse 3 à 4 fois l'épaisseur (croix de Lorette, la Jouyère, la Turoillerie); l'albite est très allongée elle aussi, en grains de 100 à 150 microns et comporte soit une macle simple, soit quelques macles polysynthétiques. La muscovite est souvent plus abondante que la biotite et forme avec celle-ci des lits de 10 à 200 microns d'épaisseur. Les grenats, aplatés, sont petits (50 à 500 microns), mais très nombreux. Ils sont fissurés ou craquelés (la Turoillerie) et fréquemment remplacés par de la chlorite (les Moissandières). L'ilmérite et le leucoxène sont concentrés dans les lits de biotite chloritisée (le Re crédit, les Moissandières). La rétomorphose est très importante dans cette formation : la biotite et les grenats sont presque totalement chloritisés. La foliation est très développée, en raison de l'abondance des micas et de l'aplatissement des grains de quartz et de feldspath. Quelques plis couchés métriques, déversés au Sud-Ouest, ont été observés (Praude).

$\xi_b^2$ . **Micaschistes et métagrauwackes albitiques à deux micas (Schistes de Saint-Gilles p.p.) (g : grenat).** Les micaschistes  $\xi_b^2$  se distinguent de la formation  $\xi_a^2$  par leur faible teneur en albite (ou par son absence) et de la formation  $\xi_m^2$  par la présence de biotite (chloritisée ou non), le plus souvent sous forme de porphyroblastes donnant à la roche un aspect tacheté. Ils sont gris-vert, à éclat satiné ou argenté, finement feuilletés et comportent des amygdales de quartz d'exsudation tapissées de chlorite.

● **Bande NW—SE, dans l'angle sud-ouest de la feuille.** Dans cette roche très feuilletée dominant les micas, surtout la muscovite, en larges paillettes formant feutrage, donnant à la roche un éclat brillant et argenté. Elle est localement concentrée dans des lentilles surmicacées très aplaties, de 5 à 10 cm de diamètre et de 1 cm d'épaisseur (les Noës), en une masse compacte dépourvue de quartz, mais piquetée par des porphyroblastes millimétriques de biotite (le Pas, Villette). Des lentilles identiques existent dans les micaschistes à deux micas des environs de Pornic (feuille Machecoul) et à Sauveterre (feuille Palluau). La biotite existe aussi sous forme de lamelles dispersées, peu nombreuses (le Pas, Villette). Le quartz est abondant, en grains de taille inférieure à 0,5 mm, généralement très étirés dans le plan de foliation. Le grenat, petit, est fréquent (les Bouchoux, la Gâte); on observe, en outre, de l'ilménite et du leucoxène. Cette formation comprend des intercalations de niveaux très siliceux, à muscovite et grenats (la Périnière), ou sans biotite (Cayenne). Les niveaux graphiteux ne sont pas rares (la Barairie, les Bruyères).

*Les plis.* La très mauvaise qualité des affleurements ne permet pas d'observer convenablement les déformations : on voit cependant de petits plis couchés P2 (la Gâte) et des microplis millimétriques recoupant la foliation, soit dans une seule direction : NW—SE (les Noës), soit dans deux directions : NW—SE et NE—SW (les Bouchoux).

● **Bande située à l'Est du Sillon houiller.** Au Nord-Est de Saint-Philbert-de-Bouaine, les micaschistes sont pincés entre deux failles, qui les séparent de l'écaille de Stéphanien, à l'Ouest, et des schistes cambriens, à l'Est.

A l'Ouest du Grand Chêne et du Grand-Breuil-du-Faux, la roche renferme beaucoup de quartz, en grains étirés, de l'albite maclée, de fines paillettes de muscovite et de biotite chloritisée, concentrées en minces lits comportant aussi de nombreux zircons, cassés et incomplets, d'origine détritique, ainsi que de la tourmaline. La foliation est très prononcée (la Boule). Ce faciès, finement lité, se rapporte à la formation des Schistes de Saint-Gilles. Il diffère des schistes cambriens, moins métamorphiques, par la présence d'albite et par le fort étirement des grains de quartz, caractéristique de tous les micaschistes  $\xi^2$ . Au Sud-Ouest de Geneston, le micaschiste, très riche en muscovite, comporte de petits grenats.

Comme toutes les formations métamorphiques de la région, ces roches ont subi une rétro-morphose dans l'épizone : la biotite est chloritisée, partiellement ou totalement. Sur leur bordure ouest, le long du Sillon houiller, ces micaschistes sont mylonitisés sur 50 m de largeur au moins (à l'Est de la Couëratière) et séparés du Stéphanien par une épaisse couche d'argile.

$\xi_m^2$ . **Schistes satinés et métagrauwackes albitiques à mica blanc (Schistes de Saint-Gilles p.p.) (g : grenat).** Ces micaschistes satinés, gris-vert, affleurent sur les deux flancs du grand pli couché du synclinal des porphyroïdes, fortement déversé au Sud. Cette formation, qui ne dépasse pas quelques centaines de mètres d'épaisseur, est caractérisée par une structure finement rythmique, comme les micaschistes  $\xi_b^2$ , ou très phylliteuse; mais la muscovite y est beaucoup plus abondante et à éclat argenté; la biotite primaire, très fine, est complètement rétro-morphosée en chlorite; l'albite et le grenat sont rares et petits (la Préauté, Sud de Villette).

Sur le flanc sud du pli des porphyroïdes, aux Rucherries, la roche est fortement écrasée, le long de la faille de Bourgneuf-en-Retz—la Marne, dont le jeu est posthume. De petits plis isoclinaux sont localement visibles (la Préauté), mais la rareté des affleurements rend impossible une étude tectonique détaillée.

$\zeta^3_p$ . **Rhyolites et méta-arkoses à muscovite : Porphyroïdes. Coulées à gros cristaux.** Sur le territoire de cette feuille n'affleure qu'une partie du grand pli couché synclinal de Bourgneuf-en-Retz—la Marne, dont l'enveloppe est constituée par les micaschistes à muscovite  $\xi_{m}^2$ . Fortement déversé vers le Sud-Ouest et localement très redressé au contact des micaschistes, cet ensemble se renverse dans sa partie orientale et forme avec les micaschistes  $\xi_{m}^2$ ,  $\xi_b^2$  et  $\xi_a^2$  au Sud de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, une série monoclinale inclinée au Sud-Ouest.

Ce complexe volcano-sédimentaire comporte les mêmes caractéristiques que les autres formations porphyroïdes de la région, décrites sur les feuilles Paimboeuf, Noirmoutier, Machecoul et Palluau. Une bonne coupe en est donnée le long de la vallée du Tenu, très encaissée entre le Branday et la Vésinière.

● **Les faciès.** Dans cet ensemble stratoïde, épais de 500 à 1 000 m, on observe des alternances, indéfiniment répétées, de trois faciès principaux :

— des gneiss « porphyroïdes » en couches compactes, dures, à débit lamellaire, constellées de porphyroblastes centimétriques de microcline rose et de quartz à éclat bleuté;

— des gneiss fins piquetés de grains de quartz et de feldspath millimétriques;

— des micaschistes feuilletés, finement rythmiques, avec ou sans feldspath.

● **Les gneiss porphyroïdes** forment des bancs massifs épais de quelques mètres, inégalement répartis dans la masse, mais le plus souvent groupés. Recoupés par la vallée du Tenu, ils affleurent à la Frogerie, la Vésinière, la Goderie, l'Egonnière, la Mulottière. Plus à l'Est, d'autres bandes sont visibles à la Sauzaie, la Cour de la Forêt. La roche comporte de nombreux porphyroblastes de microcline, d'albite et de quartz de teinte bleutée, dans une matrice très feuilletée à mica blanc; ceux de quartz sont beaucoup moins nombreux que ceux de feldspath (l'Egonnière, Chevrier, le Flachou). Les feldspaths potassiques sont les phénocristaux d'une lave rhyolitique: ils atteignent 1 à 2 cm de longueur, par étirement. Le microcline, un peu perthitique, comporte la double macle et la macle de Carlsbad; il est partiellement recristallisé, avec formation d'albite en échiquier. Le cristal est parfois encapuchonné par une bordure de microcline secondaire à double macle, plus limpide que le feldspath initial; à l'extérieur existe parfois un mince liséré d'albite. Mais la plupart des phénocristaux ne sont pas recristallisés, à l'inverse de la matrice, qui est constituée par des grains très aplatis de quartz, de microcline à double macle et d'albite. Ces lits leucocrates alternent avec des lits de mica blanc, épais de 100 à 300 microns, légèrement teintés de jaune. L'apatite et l'ilménite sont présents.

Dans ce faciès, les filons de pegmatite d'exsudation sont nombreux, avec quartz, microcline et chlorite. Entre les bancs de métarhyolite à gros cristaux, on observe souvent des intercalations de micaschistes feuilletés, très peu feldspathiques (l'Anfrenière).

● **Les micaschistes « granulés »** forment des dalles à débit facile: ils comportent quelques gros feldspaths potassiques centimétriques dispersés, inégalement répartis, mais surtout de très nombreux grains d'albite et de microcline de 1 à 3 mm, groupés en lits alternant avec des lits micacés, selon un faciès rythmique, le plus fréquent (Saint-Même, le Branday, Bellevue, le Désert, la Musse). A la Sauzaie, on observe de nombreux grains de quartz bleuté et de feldspath noir. Lorsque le quartz est plus abondant, la roche passe à un grès feldspathique (la Priaudière). Dans ce faciès, les lentilles d'exsudation, longues de 20 à 50 cm, sont essentiellement quartzieuses, avec seulement un peu d'albite.

● **Micaschistes grésopélitiques.** Le grain est infra-millimétrique et l'albite beaucoup moins abondante; la structure est finement rythmique, avec des lits quartzeux séparés par des lits de muscovite, à éclat argenté, parfois accompagnée par un peu de chlorite (la Joue). De petites amygdales de quartz, longues de 5 à 20 cm, sont intercalées çà et là entre les plans de foliation.

● **Métamorphisme, laminage et cisaillement.** Le métamorphisme qui affecte les porphyroïdes est épizonal, avec développement de muscovite, parfois d'un peu de chlorite et rarement de très petits grenats (la Guérinière, le Drillay); pendant le métamorphisme, la roche a été soumise à un laminage intense, avec étirement et aplatissement des phénocristaux de quartz et de feldspath, ainsi que des grains plus petits, enrobés dans la trame phylliteuse : le rapport longueur/épaisseur est parfois de 1 à 6. Les cristallisations en ombres de pression, formées aux extrémités du grain, sont générales et le remplissage comporte du quartz et du mica. A la surface des bancs, on observe une forte linéation d'étirement, orientée N 100-120° E. Beaucoup de porphyroblastes sont cisailés, disloqués et émiettés, les fissures étant remplies par la trame quartzo-feldspathique et micacée ou par du quartz mylonitique; certains résidus feldspathiques, déplacés, forment des boules.

● **Origine des porphyroïdes.** Par leur composition chimique et minéralogique, et par la présence de quartz à lacunes de cristallisation, les niveaux compacts, « porphyroïdes », peuvent être considérés comme des métarhyolites, restes de coulées subsistant au sein d'un complexe volcano-sédimentaire. La foliation métamorphique se moule sur la fluidalité des coulées originelles. Les faciès plus fins, de loin les plus abondants, dérivent d'arkoses et de sédiments fins formés par remaniement des coulées; les matériaux les plus évolués ont donné naissance aux faciès grésopélitiques et aux micaschistes très phylliteux.

Par tous leurs caractères, ces roches sont identiques à celles de la région de Saint-Michel-Chef-Chef, de la pointe Saint-Gildas (feuilles Machecoul et Noirmoutier), de Grand-Landes et de la région de Brétignolles (feuille Palluau). Comme il a été démontré pour ces dernières, leur structuration doit être rapportée à l'orogénèse éo-dévonienne.

#### ROCHES INTRUSIVES

γ<sup>3</sup>ζ. **Granite gneissique potassique à deux micas, orienté et feuilleté.**

**Faciès oeillé.** Sur le territoire de cette feuille affleure la partie occidentale du massif granitique de Sainte-Pazanne, orthogneissifié dans des conditions mésozonales. Des apophyses s'en échappent vers l'Est (la Hubinière, la Brandaisière); ce massif se prolonge, au Sud-Est, par un feuillet intrusif discontinu, visible jusqu'au Sud de la Limouzinière; au-delà, il forme une longue bande en direction de Mervent et de Saint-Pompain.

Entre Saint-Lumine et la Limouzinière, il est injecté entre deux unités métamorphiques différentes : la série des micaschistes  $\xi_m^2$ ,  $\xi_b^2$  et  $\xi_a^2$ , au Sud-Ouest, et la masse des gneiss  $\zeta^3$ , au Nord-Est. La puissance de ce feuillet, orienté N 110° E, varie de 10 à 500 m et sa bordure méridionale est longée par un accident important. Au Nord-Est existent des pointements isolés d'orthogneiss (au Sud de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, à la Vinette); d'autres affleurements, non figurés sur la carte, sont inclus dans les gneiss  $\zeta^3$  : à l'Est du massif de Saint-Philbert (le Baril, la Maillère), à l'Est de Saint-Philbert-de-Bouaine (Landefrère, la Biretière); de plus, les micaschistes  $\xi^2$  sont troués par le pointement des Frettières, à 3 km à l'Est de Bouaye.

La roche est un granite sodi-potassique à deux micas, riche en silice, à grain fin et à tendance porphyroïde : les phénocristaux de microcline atteignent 1 à 3 cm (Croix-Lorette, le Pas Clavier, le Pé Gobin, les Moissandières). Ce faciès peut être observé, au Sud-Est, jusqu'à Saint-Pompain, en particulier dans la forêt de Mervent et à Pont-Charron. Sa mise en place est datée à la Guière de  $446 \pm 12$  M.A. (à la limite entre Ordovicien moyen et supérieur) (P. Vidal, 1976). La teinte est claire, rose ou jaune pâle. L'assemblage minéral est constitué de quartz, de microcline à double macle, un peu perthitique, d'albite, de muscovite (dominante) et de biotite; le grenat est parfois abondant, l'apatite et le zircon sont présents.

De faciès initial grenu et porphyroblastique, la roche a acquis une foliation métamorphique, avec orientation générale des micas. Elle se débite en bancs, en plaques ou en feuillets plus ou moins minces, selon sa richesse en micas ou le degré de laminage qui l'affecte. Lors de la phase maximale de l'orogénèse acadienne, correspondant à la phase de plis 2 du Silurien de Vendée (Brétignolles), la roche a subi un intense laminage, avec aplatissement et étirement des minéraux. Au paroxysme, une intense cataclase s'est produite, accompagnée de recristallisation. A la phase finale du métamorphisme, un début d'anatexis a localement affecté cet ensemble. Pendant la phase saalienne de l'orogénèse hercynienne, le serrage intense de la partie méridionale du Massif armoricain a entraîné une mylonitisation souvent très forte, surtout sensible à l'Ouest (le Port Faissant) et le long de la bordure sud de l'orthogneiss : il s'agit là d'une réplique méridionale de la Zone broyée sud-armoricaine, de même orientation.

● **Faciès blastomylonitiques contemporains du métamorphisme.** Les déformations qui affectent l'orthogneiss (étirements, laminage, cisaillements) sont identiques à celles que l'on observe dans tout l'encaissant de micaschistes et de gneiss de la région, ainsi que dans le Paléozoïque de Vendée littorale (Ordovicien et Silurien). Elles ont été décrites dans la notice explicative de la feuille Machecoul. La roche comporte une alternance de feuillets quartzofeldspathiques et de feuillets micacés; dans les premiers, les grains de microcline, d'albite et de quartz sont étirés, disposés en chapelet et souvent associés à des lits de quartz mylonitique (les Moissandières). Les grains de quartz sont très abondants et souvent en fuseaux; les nombreux porphyroblastes de microcline, qui donnent à la roche un faciès oeilé (le Pé Gobin), sont si aplatis que leur longueur peut atteindre 4 à 6 fois leur épaisseur. Des queues de cristallisation, remplies de quartz et de feldspath, se sont formées aux extrémités du cristal, soulignant la linéation d'étirement. L'albite est abondante, en grains de 1 à 3 mm, finement maclée. Les fissures des cristaux brisés sont colmatées par du plagioclase limpide ou par du quartz. La biotite primaire est bien orientée dans le plan de foliation et forme des lits subparallèles, ou un réseau qui moule les porphyroblastes de feldspath, mais elle est fréquemment chloritisée. La muscovite est abondante, en larges paillettes qui tapissent les surfaces de schistosité. Le grenat est assez fréquent, en petits grains poecilites, parfois dentelliformes.

● **Phénomènes anatectiques.** Un début de fusion et des recristallisations partielles affectent le petit massif situé au Sud de Saint-Philbert et les affleurements qui le prolongent à l'Est (le Baril, la Maillère, Ouest de Reguyon). A la minoterie du Chaffault, l'orthogneiss est parcouru par des veines leucosomiques plissotées; là où la fusion est plus complète, le faciès devient équant, avec une structure en mosaïque (moulin d'Amérique). Les cristaux centimétriques de microcline primaire sont criblés de gouttes de quartz; beaucoup d'entre eux sont fragmentés et soudés par du microcline secondaire limpide et maclé. Ailleurs, une partie du grand cristal est détruite, et du

microcline secondaire, limpide, se glisse entre les grains de la trame, en association symplectique avec le quartz et l'albite (le Verger, la Guibretière). Il ne subsiste parfois que quelques résidus du microcline primaire. Les grains d'albite, cisailés, sont injectés de quartz (la Maillère) et en partie remplacés par du microcline, quadrillé (le Verger). La myrmékite est fréquente (le Verger, le Baril). Alors que la biotite primaire est détruite ou chloritisée, apparaît une biotite secondaire très foncée, fine et mal orientée. Les grenats sont brisés, injectés de quartz ou partiellement détruits (la Guinanderie).

● **Mylonites et ultra-mylonites liées à l'orogénèse hercynienne.** Au cours des serrages post-stéphaniens, accompagnés de grands cisaillements subparallèles à la Zone broyée sud-armoricaine, un feuilletage cataclastique s'est superposé à la foliation métamorphique, tout le long du feuillet orthogneissique, spécialement à l'Ouest (le Port Faissant, Bois-Jouan, la Jôuyère) et sur le bord sud de la bande (le Marchais). Dans les lits quartzofeldspathiques se développe une structure en mortier, qui englobe des restes de porphyroblastes disloqués : les feldspaths sont cisailés, laminés et tordus ; les grains résiduels sont écorchés à la périphérie, rapés et entourés par une couronne de fins débris soudés par une mouture quartzofeldspathique. Les fissures des grains sont remplies par de la chlorite ; les micas sont écrasés ou se dispersent en filaments, avant de disparaître. Des lits de quartz fluidal, épais de 100 à 300 microns, ou des lentilles effilées engendrent une très fine schistosité.

La cataclase augmentant, le faciès devient bréchique et de plus en plus compact ; les débris anguleux de quartz et de feldspath, de taille inférieure à 50 microns, sont noyés dans une purée mylonitique. La brèche, devenue isotrope, est traversée par de nombreuses fissures, injectées de quartz translucide de teinte rose (le Port Faissant, les Moissandières).

Au Port Faissant, des miroirs de faille découpent la masse de l'orthogneiss mylonitisé ; leur orientation est N 110° E et le pendage de 80° au Sud-Ouest. Des stries de glissement y sont visibles, inclinées de 30° vers le Sud-Est, ce qui indique qu'un certain déplacement vertical des blocs a accompagné leur déplacement longitudinal. D'autres plans de laminage, subverticaux, avec stries, sont visibles plus au Nord, à l'Ouest de Saint-Mars (la Hubinière), au moulin de Chappe, etc. Les zones les plus broyées sont accompagnées de placages graphiteux (Chantepie).

Dans les zones les plus tectonisées, la roche est complètement argilisée, en particulier le long du grand accident méridional (le Maupas, la Marnière, Tournebride). Au pied du talus du Maupas, l'érosion marine pliocène a affouillé ces roches tendres sur plus de 17 m de profondeur.

$\gamma^1$ . **Leucogranite hercynien à deux micas.** Au Nord-Est de la feuille, des Sorinières au Butay, affleure un segment de la longue bande granitique qui s'étend sur 350 km, depuis la pointe du Raz jusqu'au Nord de Montaigu. Au droit du Bignon, sa largeur est de 9 km ; des observations récentes ont permis de reconnaître que son extension réelle est un peu supérieure à ce qui est figuré sur la carte : au Nord-Est, la limite entre le granite et les micaschistes va des Faux jusqu'au Sud du château du Coin (bord sud de la Maine) ; au Sud-Ouest, le granite est en contact avec les serpentinites, à Pont-Saint-Martin, Viais, Guénégaud, Montbert et la Sauvagère. Il convient donc de remplacer la notation  $\zeta^3$  par la notation  $\gamma^1$ , tout le long de la vallée de l'Ognon.

La surface du granite affleure le long de trois plates-formes dénivelées : au Nord-Est, celle de la Salmonière—l'Herbray (30-40 m) ; au centre, la plate-forme culminante de la forêt de Touffou (50-58 m) est soulevée en un horst, dans le prolongement du Sillon de Bretagne (au Nord-Ouest de Nantes) ; au Sud-Ouest, la plate-forme du Bignon est fortement affaissée (20-35 m).

La roche est un granite alcalin, leucocrate, à deux micas, à grain généralement fin (les Régniers, la Bessière), parfois plus grossier (le Champ Siôme, les Sorinières) et rarement porphyroïde (le Pérou). Sa mise en place est datée du Carbonifère moyen (316 M.A.) en Bretagne méridionale.

Le quartz est abondant; le feldspath potassique est un microcline perthitique à double macle, fréquemment maclé Carlsbad; on observe des bourgeons de myrmékite au contact de l'albite, qui est finement maclée et parfois très abondante (les Régniers). La biotite est localement très répandue (la Hée, le Champ de Foire), mais elle est émiettée par la cataclase ou entièrement détruite. La muscovite se présente soit en fines paillettes, soit en longues lamelles bien orientées, étirées en forme d'amande ou de poisson (Mettreau, le Martinet, chez Doizé); le grenat est rare.

● **Mylonites, ultramylonites.** Sur toute son étendue, le granite  $\gamma^1$  a subi une forte cataclase particulièrement intense dans la bande de la forêt de Touffou, située dans le prolongement de la Zone broyée sud-armoricaine, où il acquiert une structure feuilletée, noduleuse ou bréchique. L'altération superficielle qui en est la conséquence peut atteindre 3 à 4 m de profondeur (les Bauches, le moulin des Landes). Le débit planaire (schistosité) est dû à l'alternance de lits de micas écrasés et de lits de quartz mylonitique ou fluidal contenant des résidus de feldspath cassés, disposés en mortier (les Sorinières). Tous les minéraux sont affectés par la cataclase: le quartz est laminé, en lits et en amandes, ou en rubans flexueux moulant les noyaux feldspathiques (Rétoré-Machet); les feldspaths subsistent sous forme de résidus millimétriques cassés, altérés, allongés en amandes effilées ou arrondis en noyaux sur lesquels se moulent les micas écrasés (les Sorinières, la Bessière, Montbert, Mettreau); le mica noir est réduit en miettes, chloritisé, ou le plus souvent détruit (le Butay), laissant à son emplacement de petits granules ferrugineux (les Rambauidières); la muscovite se concentre localement en lits, donnant à la roche un faciès de phyllonite (le Butay).

● **Foliation mylonitique.** L'orientation des plans de schistosité dus au laminage est pratiquement constante (N 110° E), mais leur inclinaison est variable: tantôt elle pend vers le Sud-Ouest (de 80°) (à la Flocellière, aux Régniers, au Pérou), tantôt elle pend vers le Nord-Est (de 60 à 75°) (Bon Acquet, les Dozelleries, Viais, le Breil, le Pont Bonnet).

● **Plans de cisaillement.** Les plus importants sont subverticaux et orientés à N 110° E; ils comportent des stries de glissement, inclinées de 40° vers le Sud-Est (moulin Saint-Gabriel, à 400 m au Sud-Est de la Placelière): un déplacement vertical est donc ici associé au déplacement horizontal de blocs faillés. Un phénomène identique, avec stries inclinées à 30° SE, affecte l'orthogneiss  $\zeta^3$ , à l'Ouest de la feuille (le Port Faissant).

De très nombreux plans de cassures subverticaux tardifs cisailent la masse granitique, en direction N—S à N 60° E; les plans de cassure subhorizontaux sont fréquents et engendrent une structure grossièrement feuilletée.

● **Failles.** La bande granitique est coupée longitudinalement en son milieu par un accident que longe un filon de quartz d'épaisseur variable (10 m au maximum, aux Gros Cailloux); il est affecté d'un rejeu posthume, dans le prolongement de celui qui longe le flanc sud du Sillon de Bretagne.

Le massif est limité au Nord-Est et au Sud-Ouest par des failles, accompagnées d'un broyage intense qui a donné naissance à une kaolinisation importante (les Faux). Non figurée sur la carte, la faille sud-ouest, qui met en contact le granite et les serpentinites, est un accident très important, jalonné d'ultra-mylonites, avec phénomènes de silicification associés (la Planche, à 2 km au Nord de Montbert). D'après les déformations qui affectent le

feuilletage, un mouvement de coulissage dextre peut être décelé au Pont Bonnet, au Breil, au Pont Bouchet.

Ces phénomènes de mylonitisation et ces laminages longitudinaux s'intègrent parfaitement dans le complexe des grands cisaillements dextres de la phase saalienne en Europe occidentale et moyenne.

$\mu\gamma$ . **Microgranite de Saint-Aignan-de-Grand-Lieu.** Un pointement de faible étendue peut être observé au bord du lac de Grand-Lieu, au Sud de Pontrigné. La roche, de faciès microgrenu, rouge sombre, est dépourvue de toute schistosité et n'est pas écrasée.

#### FILONS

**Q. Quartz.** Au Sud-Ouest de la forêt de Touffou, entre les Sorinières et le château d'eau du Butay, le granite  $\gamma^1$  est cisailé par un accident important, dans le prolongement de la faille du Sillon de Bretagne. Comme au Nord-Ouest de Nantes, cette cassure est jalonnée par un filon de quartz subvertical, laminé aux extrémités; son épaisseur maximale est de 10 m environ; il a été exploité en carrière aux Trois Hermines. Une cassure parallèle, située un peu à l'Ouest, comporte un rejeu posthume par lequel le plateau de la forêt de Touffou (50-58 m) domine la plate-forme affaissée du Bignon (20-35 m).

De nombreux filons moins importants parcourent le massif granitique, par exemple aux Fontenelles et au château du Rafflay (à l'Est des Trois Hermines), et à 500 m au Sud du carrefour des Régniers, où l'on observe du quartz fibro-radié.

Le long du grand cisaillement qui limite au Sud-Ouest les gneiss  $\zeta^3$  de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, plusieurs secteurs comportent des filons de quartz épais de un à quelques mètres : au Nord-Ouest du Maupas (Roche Blanche), au Pas Clavier, à la Haye et au Sud de l'Auduze. A la Gravouillerie, un filon de quartz, épais de 0,20 m, est intercalé dans l'amphibolite. Des filons de quartz de moindre importance accompagnent les petits pointements granitiques (la Moricière, l'Epine).

**Kersantite.** Un filon épais de 2 m, non figuré sur la carte, traverse les micaschistes à chloritoïde  $\xi^2$ , à 200 m à l'Ouest de la Ville-au-Denis. Dans une pâte à grain très fin, non orientée, on observe des phénocristaux de quartz, d'orthoclase séricitisé et de biotite (à l'angle nord-est du carrefour).

#### FORMATIONS PALÉOZOÏQUES

**k. Cambrien. Schistes pélitiques en plaquettes.** Cette formation épizonale, d'origine sédimentaire, occupe un couloir entre les micaschistes  $\xi_6^2$  à l'Ouest et le granite blastomylonitique  $\gamma^1$  à l'Est (notés  $\zeta^2$  sur la carte). Elle est attribuée au Cambrien, en raison de sa position sous le grès arénigien s1, au Sud-Est, dans la région de Chauché (feuille Montaigu à 1/50 000). Ce couloir s'élargit vers le Sud-Est, par Vieillevigne, Saint-André-Treize-Voies, l'Herbergement, les Brouzils, Saint-Fulgent.

A l'Ouest, ces schistes sont inclinés vers le Nord-Est, comme les micaschistes  $\xi_6^2$ , mais à l'approche du Sillon houiller, ils sont parfois redressés verticalement, comme ce dernier.

Le faciès typique est un schiste gris-vert clair, tendre, se débitant en plaquettes de 0,2 à 1 cm d'épaisseur, à surface très plane, lisse, mate ou satinée. Il est parfois très finement feuilleté ou rubané (la Herprie). Un faciès

finement grenu, plus siliceux, y est localement intercalé. La roche est essentiellement constituée de séricite et de chlorite, en très fines paillettes bien orientées; dans cette trame sont disséminés des grains de quartz de taille inférieure à 0,05 mm. Un litage est souvent visible, avec alternance de lits à séricite et chlorite, en feutrage, et de lits plus riches en quartz; l'épaisseur de chacun est de 0,1 à 0,5 mm (la Guergue, le Lorot, la Herprie). Quelques zircons détritiques sont parsemés dans les lits quartzeux. Cet ensemble constitue le terme le plus superficiel des formations métamorphiques représentées sur cette feuille; il ne comporte pas de lentilles de quartz d'exsudation, mais la foliation est cependant très bien marquée par la séricite.

*Les plis.* Des plis couchés centimétriques P2, de 3 à 5 cm, plissant la stratification S0 et la foliation S1, peuvent être observés (la Pilotière). De plus, ces schistes sont affectés en beaucoup d'endroits par des microplis tardifs, dissymétriques, écartés de 0,2 à 0,5 mm en moyenne, recoupant la foliation (la Herprie, la Ganachère, la Brenière); une forte schistosité de fracture y est associée.

L'extension probable de ce terrain vers le Nord est masquée par la couverture pliocène.

**h5. Houiller. Stéphanien de Saint-Mars-de-Coutais : schistes et grès grossiers, charbon.** Le Sillon traverse la feuille en diagonale, de Saint-Mars à la Couëratière, et se poursuit sur la feuille Palluau (mines de l'Écotais et de la Merlatière). Connu depuis plus d'un siècle et demi (catalogue de Dubuisson, 1830), sa direction est de N 110° E de Saint-Mars aux Grolles et de N 130° E de Beauvais à la Couëratière et à la Merlatière. A Saint-Mars, il est intercalé dans les micaschistes  $\xi^2$ , tandis qu'au Sud-Est, il est pincé entre les gneiss  $\zeta^3$  et les micaschistes albitiques  $\xi_6^2$ . Partout, le contact entre le Houiller et l'encaissant se fait par des failles.

Masqués par une épaisse couverture pliocène, les affleurements en sont extrêmement rares.

● **Gisements de la région de Saint-Mars-de-Coutais.** La butte du Palis est constituée par un conglomérat à galets de quartz anguleux pris dans une gangue siliceuse et micacée, associé à des quartzites et à des grès fins contenant de nombreuses paillettes de muscovite détritique. Entre le Surchaud et le Coin aux Rats, sur le bord sud de la route, affleure un grès siliceux à muscovite, associé à des quartzites et à des conglomérats siliceux noirs. Au Surchaud, un puits creusé en 1893, jusqu'à 10 m de profondeur, a été exploité temporairement. Entre le Coin aux Rats et la Noë, la route est bordée, à l'Est, par un conglomérat dont les galets de quartz, de teinte noire, jonchent les vignes. A la Noë affleurent des grès psammitiques très fins, brun clair, à grains de quartz millimétriques et nombreuses paillettes de muscovite, ainsi que des grès siliceux grossiers à petits galets de quartz et ciment de biotite et de muscovite. Cette roche, non métamorphique, est très écrasée : la biotite est tordue et décolorée. A la Croix-des-Moinards, les grès ont une direction de N 30° E et un pendage de 20° au Sud-Est. Au moulin de Bel Air (à 300 m au Sud-Ouest de l'Effeterie), des schistes noirs ont été atteints, sous 6 m de graviers pliocènes.

Le terrain houiller de Saint-Mars se prolonge très vraisemblablement vers le N.NW, car les sondages effectués en vue de la déviation routière de Saint-Léger ont atteint des « schistes ampéliteux », associés à des « schistes arkosiques », pincés entre les amphibolites, en particulier dans le sondage S14, à 250 m à l'Ouest de l'Acheneau.

C'est à l'Effeterie qu'eurent lieu plusieurs tentatives d'exploitation (à l'Est de la route).

— *Historique.*

- Fouilles de 1848, avec creusement d'un puits de 20 m de profondeur (puits A); il n'y eut pas d'exploitation, par suite des difficultés d'accès.
- Fouilles de 1860 (25 m), sans exploitation pour les mêmes raisons.
- Puits creusé en 1917, jusqu'à 40 m, et extraction jusqu'à 1918 (puits B). Un tonnage de 2 000 à 3 000 tonnes de houille en fut tiré.
- Fouilles de 1920-1 (puits C), jusqu'à 25 mètres.

— *Coupes des puits.*

*Puits A* (1848), à l'Effeterie, sur le bord est de la route :

- de 0 à 4 m : terre végétale et sables rouges pliocènes remaniés,
- de 4 à 17 m : grès micacé noirâtre, coupé de veines charbonneuses,
- de 17 à 20 m : veines de houille de 0,20 m d'épaisseur, intercalées dans les grès et redressées verticalement; le charbon est écrasé et se débite en minces feuilletés.

*Puits B* (1917) (40 m de profondeur), creusé à 25 m du puits A :

- de 0 à 7 m : terre végétale et sables rouges,
- de 7 à 10 m : argile charbonneuse,
- de 10 à 40 m : grès et schistes, avec petites veines de houille, subverticales, devenant plus épaisses en profondeur; des galeries de 25 à 40 m de longueur furent ouvertes, vers l'Est et vers l'Ouest : les mêmes faciès y furent observés.

*Puits C* (70 m au Nord-Est de A) :

- de 0 à 5 m : terre végétale et limon,
  - de 5 à 7 m : sables rouges,
  - de 7 à 17 m : argile micacée avec passées charbonneuses et galets de quartz,
  - de 17 à 21 m : brèche conglomératique, à galets et blocs décimétriques, avec quartz, schistes et grès noirs, houille, dans une matrice argileuse.
- Il semble que ce puits ait traversé une zone de broyage importante.

— *Paléontologie.* Des empreintes ont été recueillies dans les déblais du puits B par Louis Bureau. D'après les déterminations d'Ed. Bureau (J. Péneau, 1921), la flore comprend des *Pecopteris* de la famille des *Pécopteris cyathéoides* dont *Pecopteris cyathea*, Brongn., *Pecopteris hemitelioides*, Brongn. Ces *Pécoptéridées* sont très fréquentes dans les terrains d'âge stéphanien. Les autres espèces citées : *Pecopteris (Senftenbergia) plumosa dentata* (Artis-Brong.), *Annularia stellata*, Schloth., *Asterophyllites equisetiformis*, Schloth., *Cordaites*, sont des plantes largement réparties dans tout le Carbonifère.

L'*Alethopteris serli*, Brongn., mentionné dans la liste de Péneau, est une espèce westphalienne, mais proche de l'*Alethopteris grandini*, Zeiller (non Brongn.) du Stéphanien. Il est parfois difficile de distinguer ces deux espèces, surtout si les échantillons sont petits ou en mauvais état de conservation.

La présence de formes variées de la famille des *Pécopteris cyathéoides* est un argument en faveur de l'attribution du terrain houiller de Saint-Mars-de-Coutais, au Stéphanien, sans que l'on puisse préciser davantage le niveau.

● **Gisement des Grolles.** Au Sud-Est du lac, sur le bord sud de la vallée du Redour, des argiles noires micacées, accompagnées de grès schisteux à galets de quartz et de grès siliceux, reposent sous 4 m de cailloutis pliocènes; ces galets, de même faciès que ceux de la région de Saint-Mars-de-Coutais, sont remaniés à la base du cailloutis.

● **Gisement de la Couëratière.** Dégagé de la couverture pliocène, le Sillon houiller affleure dans l'angle sud-est de la feuille (le Chiron des Landes, la

Haute Sècherie, la Couëratière). Il s'agit essentiellement de schistes, de grès et de poudingues orientés N 20 à 35° E. C'est plus au Sud que des exploitations ont été tentées dans cette bande, à la Merlatière et à l'Ecotais (feuille Palluau à 1/50 000) : des puits furent creusés dans des couches presque verticales (48 et 64 m).

— *Coupe du Sillon houiller, à 300 m au Nord de la Biretière.* A l'Ouest, l'encaissant gneissique  $\zeta^3$  a une direction N 20° E et un pendage subvertical. Très écrasé, il comporte une amande d'amphibolite laminée. Le Houiller est constitué par un poudingue à petits galets ovoïdes de quartz et de grès siliceux, de 5 à 10 cm de longueur. A l'Est, une faille les met en contact avec les micaschistes  $\xi_6^2$ .

— *Coupe du Sillon houiller, à 600 m au Sud-Est de la Couëratière.* Une tranchée de drainage, creusée en 1966, a permis d'observer le contact entre le Carbonifère et l'encaissant, à l'Est du Sillon (à 50 m à l'Est du bois, sur le bord sud de la route).

On voyait, du Nord vers le Sud :

- sur 150 m de distance : des micaschistes albitiques  $\xi_6^2$ , à pendage 30° NE, chevauchant le Carbonifère;
- sur 50 m : des micaschistes albitiques mylonitisés et redressés presque verticalement ou réduits en bouillie;
- le passage de la faille orientale du Sillon, remplie d'argile (à 200 m au Sud de la route);
- sur 20 m : des schistes et des grès fins, riches en paillettes de muscovite détritique, avec des passées de grès grossier, le tout fortement écrasé;
- sur 3 m : des grès grossiers, de faciès « gros sel », à grains de quartz de 1 à 3 mm;
- sur 10 m : des schistes noirs écrasés et argilisés.

La tranchée ne dépassait pas ce point, situé à mi-largeur du Sillon. A l'Ouest comme à l'Est du Houiller, les mesures de pendage ont montré une inclinaison de l'encaissant  $\zeta^3$  et des micaschistes  $\xi_6^2$ , de 35 à 60° vers l'Est, tandis que le Houiller est subvertical, un peu penché tantôt au Nord-Est, tantôt au Sud-Ouest. Le laminage est surtout intense dans les micaschistes  $\xi_6^2$ , plus ou moins chevauchants.

Ainsi, la masse principale du Sillon houiller est constituée essentiellement par une série détritique grossière, surtout siliceuse, épaisse de plusieurs centaines de mètres. La sédimentation y est localement de type torrentiel, évoquant un paysage au relief marqué. Les veines de houille sont rares et minces (0,20 à 1 m) et semblent s'égrener en chapelet sous l'effet du laminage tardi-hercynien. Faute de sondages, ce terrain reste très mal connu.

#### FORMATIONS TERTIAIRES

**e3. Ilerdien supérieur (faciès sparnacien). Argiles de la Métellerie et argiles laguno-marines de Saint-Mars-de-Coutais** (observées en sondages) (fig. 1). Après les nouveaux gisements d'Yprésien, décrits sur les feuilles Paimboeuf, Machecoul et Noirmoutier (à 1/50 000), une dizaine de localités nouvelles ont été découvertes au cours du levé de la feuille Saint-Philbert. L'Ilerdien est partout représenté par des argiles noires, souvent feuilletées, épaisses de 0,20 à 2 m au maximum, parfois mélangées d'un peu de sable très fin et accompagnées de bois carbonisé; des sables noirs pyriteux les recouvrent localement (la Métellerie). Mais ces dépôts sont toujours recouverts par des sables graveleux pliocènes, épais de 1 à 8 m; ils ont été trouvés à

Tableau 1 — LISTE DES GISEMENTS YPRESIENS DE LA RÉGION DU LAC DE GRAND-LIEU, DE MACHECOUL, DE NOIRMOUTIER ET DE LA VENDÉE LITTORALE

I. RÉGION DE GRAND-LIEU

Localisation	N <sup>os</sup> (fig. 1)	Coordonnées Lambert		Altitude des gisements (NGF)	Faciès	Situation paléogéographique	Milieu de sédimentation	Inventeurs
		x	y					
<i>St-Mars-de-Coutais</i> (le Vigneau) Puits Douillard	1	290,6	241,7	entre 3 et 5 m	argile noire	Paléovallée du Tenu (flanc est)	Milieu laguno-marin à Dinoflagellés et palmier <i>Nypa</i>	M. Ters
Puits Guitteny	2	290,6	241,75	entre 3 et 4 m	argile noire	- id. -	- id. -	- id. -
Puits Henri Roux	3	290,4	241,8	entre 3 et 5 m	argile noire	- id. -	- id. -	- id. -
<i>Angle nord-est du lac de Grand-Lieu</i> L'Halbrandière (en St-Aignan)	4	300,0	243,1	entre 2 et 3 m	argile noire	Rive nord de la vallée de l'Ognon	- id. -	- id. -
<i>Bordure est du lac de Grand-Lieu</i> Sainte-Rose (au Sud du Breil) (en St-Philbert)	5	298,5	236,55	entre 3 et 1 m	argile noire	Angle sud-est de la cuvette de Grand-Lieu	Milieu continental marécageux	- id. -
<i>Bord sud du lac de Grand-Lieu</i> Le Marais-Michaud (en St-Lumine-de-Coutais)	6	295,3	235,25	vers 2 m	argile brune	Bord sud de la cuvette de Grand-Lieu	Milieu continental marécageux	- id. -
<i>Vallée du Redour</i> La Métellerie	7	304,6	236,15	entre 10 et 11 m	argile grise feuilletée, sur argile noire compacte	Fond de la paléovallée du Redour, affluent de la Boulogne	Milieu continental, fond de vallée marécageux	- id. -
Guibreteau (en Geneston)	8	304,6	236,4	vers 15 m	- id. -	Flanc nord de la même vallée	- id. -	- id. -

II. RÉGION DE MACHECOUL

<i>Moulin des Penauds</i> (en St-Hilaire-de-Chaléons)	9	282,30	241,20	entre 15,3 et 15,5 m	argile noire	Paléovallée	Milieu continental Zone marécageuse	J. Mounès
<i>La Mortonnerie</i> (en Ste-Pazanne)	10	283,4	240,10	entre 5 et 7 m	argile noire	Paléovallée du ruisseau de l'Angle	- id. -	M. Ters
<i>La Noulterrie</i> (en Chauvé)	11	271,20	249,75	entre 11,5 et 12 m	argile brune	Dépression	Milieu continental Zone forestière très humide	J. Mounès
<i>La Joussetière</i> (en Chauvé)	12	270,15	249,6	entre 13 et 13,5 m	argile noire	Paléovallée	- id. -	M. Gautier

III. BAIE DE BOURGNEUF ET NOIRMOUTIER

<i>La Sennetière</i> (en la Bernerie)	13	269,5	238,7	entre 2,5 et 2 m	argile noire	Bordure nord de la baie de Bourgneuf	Milieu lagunaire à mangrove (palmier <i>Nypa</i> )	S. Durand
<i>L'Anse rouge</i> (en Noirmoutier)	14	253,4	234,0	entre + 4 et - 4 m	sables fins et argiles, sur argile noire	Côte sud-ouest de la baie de Bourgneuf	Milieu lagunaire à Dinoflagellés et à mangrove (palmier <i>Nypa</i> )	S. Durand
<i>La Clère</i> (en Noirmoutier)	15	251,95	234,15	entre + 2 et - 2,40 m	argile brune à noire	Vallon débouchant dans la baie de Bourgneuf	- id. -	J.-M. Viaud
<i>Fromentine</i> (culée A du pont)	16	564,85	219,70	- 25 à - 26 m	argile noire	Détroit de Fromentine	- id. -	M. Ters
<i>Fromentine</i> (sondage E 2)	17	564,90	219,8	- 20,50 m	argile noire	Détroit de Fromentine	- id. -	M. Ters

IV. VENDÉE LITTORALE

<i>Le Loreau</i> (en Soullans)	18	276,6	206,5	- 0,55 à - 1,05 m	argile noire	Gouttière d'origine tectonique ?	Milieu lagunaire : littoral à mangrove ( <i>Nypa</i> ) et Dinophycées	J.-M. Viaud
-----------------------------------	----	-------	-------	-------------------	--------------	----------------------------------	---	-------------

l'occasion du creusement de puits ou d'étangs. Cette couverture sableuse, encore presque continue, masque une paléotopographie d'âge éocène inférieur, qui fut très peu modifiée par la suite.

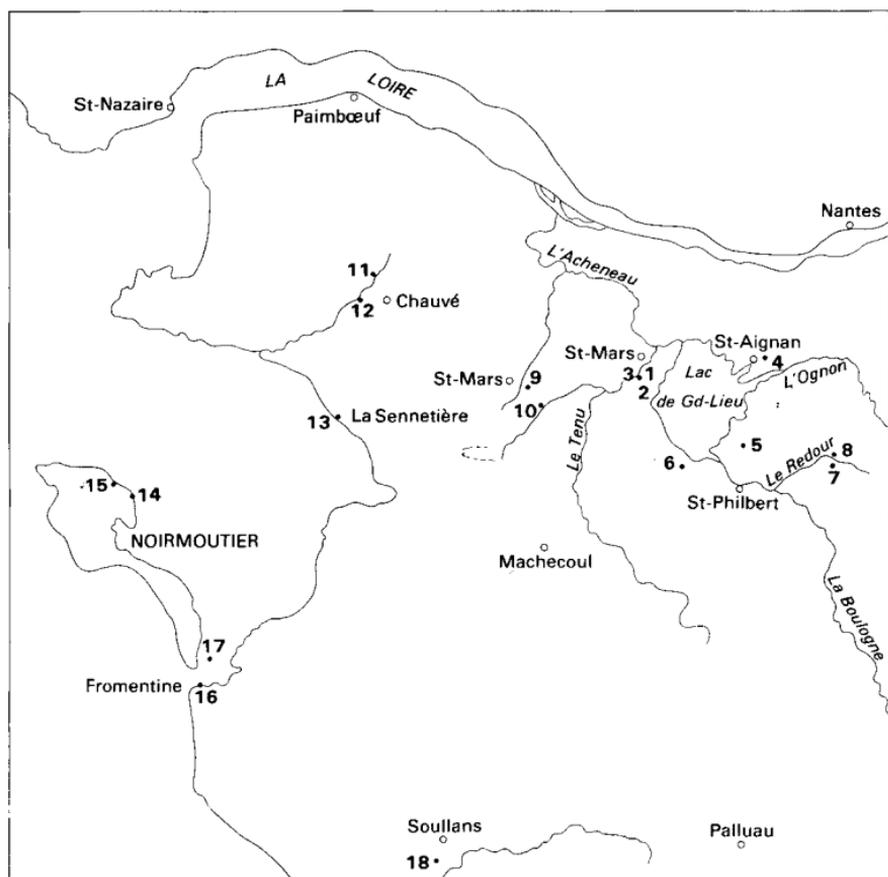


Fig. 1 - Répartition paléogéographique des gisements ilerdiens au Sud de la Loire

Les gisements sont situés : autour du lac de Grand-Lieu; dans le fond de plusieurs vallées tributaires du lac : la Boulogne (Sainte-Rose), l'Ognon (l'Halbrandière), et le Redour (la Métellerie); dans la paléovallée du Tenu.

L'altitude des gisements est très faible : pour les faciès laguno-marins, les dépôts se trouvent entre 3 et 5 m NGF (vallée du Tenu et bordures nord-est et sud du lac : l'Halbrandière, le Marais-Michaud); pour les faciès continentaux, l'altitude est un peu plus élevée : 10 à 11 m à la Métellerie, vers 15 m à Guibreteau (vallée du Redour). Tous les gisements connus sont groupés sur le tableau 1; on y a ajouté les gisements déjà connus en Loire-Atlantique et en Vendée, dont les altitudes sont presque identiques (à l'exception de celle du graben de Fromentine).

● **L'analyse pollinique** des argiles noires, effectuée par J.-J. Châteauneuf, révèle leur grande richesse en spores et en pollen (plus de 100 espèces).

Au sein des 25 échantillons examinés, l'environnement de dépôt permet de différencier deux groupements suivant la présence ou l'absence de kystes de Dinoflagellés. Le premier groupe, qui comprend les gisements de la Grêle,

Sainte-Rose, Guibreteau et la Métellerie, n'a livré que du matériel d'origine continentale : débris ligneux, spores ou pollens. Plus d'une centaine d'espèces ont été inventoriées dans ces quatre gisements, parmi lesquelles celles qui nous semblent les plus significatives sont : *Dicolpollis luteticus*, *Pinus diploxylon* et *haploxylon*, *Nudopollis endangulatus*, *Plicapollis pseudoexcelsus*, *Pompeck-joidaepollenites subhercynicus*, *Interpollis supplengensis*, *Caryapollenites eogracilis*, *Triatriopollenites aroboratus*, *engelhartioides*, *platycaryoides*, ainsi que de nombreuses formes d'*Icacinaceae*, *Meliaceae*, *Sapotaceae*, *Schizeaceae*, *Flacourtiaceae*, *Restionaceae*, *Tiliaceae*, *Cupressaceae*, etc. L'âge de cette association est difficile à placer par rapport aux étages du Bassin de Paris, en raison des différences existant dans le milieu de dépôt et la latitude de celui-ci par comparaison avec le centre du Bassin de Paris. Néanmoins, on peut parler d'un intervalle s'étendant du Sparnacien supérieur au Cuisien inférieur. L'environnement marécageux chaud et humide ne fait aucun doute, la plupart des formes précitées étant fortement hygrophiles. Ce marécage peut cependant piéger des espèces appartenant à des formes arbustives plus sèches (*Juglandaceae* et *Pinaceae* par exemple), qui sont disséminées par les circulations atmosphériques ou par les eaux de surface.

Les gisements des puits Guitteny (le Drouillet) et Douillard ainsi que celui de l'Halbrandière ont livré une microflore identique à celle des échantillons précédents avec cependant la présence constante de *Spinizonocolpites spinosus* ou *baculatus* (pollen de palmier *Nypa*) et kystes de Dinoflagellés dont les plus significatifs sont : *Operculodinium tiara*, *Cordosphaeridium inodes gracilis*, *Achomosphaera alvicornu*, *Thalassiphora velata*, *Impletosphaeridium whitei*, *Apectodinium homomorphum*.

La zone de l'Halbrandière, qui possède l'association la plus riche en Dinokystes, pourrait se situer dans une zone plus ouverte aux influences marines. On a pu y déterminer en outre : *Adnatosphaeridium* sp., *Lanternosphaeridium* sp., *Deflandrea phosphoritica* et *Homotryblium* sp. Par comparaison avec les associations précédentes, laguno-continentales, on peut interpréter ces groupements de deux façons différentes. Elles peuvent être légèrement plus jeunes (transgression cuisienne) que les associations méridionales, soit correspondre à un passage de faciès c'est-à-dire à du laguno-marin favorisant tout à la fois le milieu de vie du palmier *Nypa* (mangrove actuelle) et de certaines formes de Dinoflagellés. C'est vers cette deuxième hypothèse que nous penchons en raison de la grande similitude des microflores et des arguments lithostratigraphiques et paléogéographiques avancés par ailleurs.

• **Comparaison avec les associations définies dans les niveaux comparables sur les feuilles à 1/50 000 voisines.** Les comparaisons que l'on peut faire avec les gisements des Penauds (1/50 000, Machecoul) et la Noultrie (1/50 000, Paimboeuf) montrent une grande similitude des associations avec cependant une plus grande richesse en spores pour les premiers. La Noultrie a fourni quelques exemplaires de *Nypa* mais aucun des deux gisements ne contient des Dinokystes.

Les associations comparables définies dans la région de Noirmoutier-en-l'Île (voir notice carte à 1/50 000) offrent un certain nombre de particularités en raison de l'expansion des sédiments ilerdiens représentés et surtout du faciès sous lequel se présente ce dépôt. Il s'agit de laguno-marin sous forme de sables argileux ou d'argiles sapropéliques. Si l'on se base sur la composition globale de la microflore et sur l'absence dans l'association de Dinokystes du genre *Wetzeliella* ou *Kisselovia* rencontrés dans les argiles supérieures de l'Anse rouge, on serait amené à faire la corrélation des dépôts ilerdiens de Saint-Philbert, Machecoul ou Paimboeuf avec la base des formations cuisienues de

Noirmoutier (base du sondage D 5 de l'Anse rouge et formation sapropélique de l'anse de la Clère).

● **Intérêt paléogéographique des gisements yprésiens de la région de Grand-Lieu.** La connaissance de la flore de ces argiles a permis de les dater et aussi de tenter une reconstitution des milieux de végétation au Paléocène.

La basse altitude des gisements (tous situés entre 0 et 15 m) s'explique par le très faible relief régional (inférieur à 60 m sur l'ensemble de la carte) et l'existence de zones déprimées : la cuvette tectonique de Grand-Lieu occupe presque la moitié de sa superficie. Les vallées sont peu profondes, mais d'une grande largeur par rapport aux écoulements actuels.

La découverte des gisements situés au fond des vallées du Tenu et du Redour apporte la preuve de l'âge anté-yprésien de ces vallées et, par suite, de l'ensemble du réseau hydrographique local. On sait qu'en Vendée littorale, les principales vallées (Vie, Jaunay, Ligneron, etc.) sont anté-cénomaniennes. Les vallées pré-yprésiennes sont très vraisemblablement les héritières de vallées antérieures au Crétacé moyen. La dépression tectonique de Grand-Lieu est anté-sénonienne puisque des dépôts de cet âge, remaniés en abondance au Pliocène, y étaient piégés.

L'écoulement des eaux était défavorisé par le manque de pente : le niveau de la mer à l'Ilerdien était voisin de l'actuel, ainsi qu'en témoignent les mangroves situées entre 2 et 5 mètres. Il l'était aussi par le caractère imperméable des terrains cristallins et par une couverture argileuse d'altération, de type latéritique : les minéraux argileux contenus dans les argiles de la Métellerie sont la kaolinite (70 %), l'illite-mica (25 %) et un peu de smectites (2 à 5 %). Au Marais-Michaud, les argiles noires qui reposent sur les prasinites sont plus chargées en smectites (20 %), avec 50 % de kaolinite et 30 % d'illite.

Les conditions climatiques de l'Yprésien ont été fort bien décrites par M.-F. Ollivier-Pierre (1980), d'après l'étude de nombreux gisements du Massif armoricain. La région de Grand-Lieu se trouvait, à ce moment, à une latitude plus basse que celle d'aujourd'hui (environ 37° lat. N). Le caractère océanique du climat était dominant et les eaux de l'Atlantique plus chaudes qu'actuellement, comme en témoigne la présence de Nummulites : la forte évaporation engendrait des précipitations locales abondantes; l'Yprésien a bénéficié de la température la plus élevée du Paléocène. Ces conditions ont entraîné le développement d'une végétation luxuriante : 110 espèces végétales sont citées par M.-F. Ollivier-Pierre dans le Massif armoricain et une centaine a été reconnue par J.-J. Châteauneuf dans les seuls gisements de la feuille Saint-Philbert.

La végétation était de type mixte, comprenant un mélange d'éléments qui sont actuellement strictement tropicaux (palmier *Nypa*), d'éléments à distribution tropicale et subtropicale (les plus nombreux), d'éléments tempérés-chauds et d'éléments tempérés (beaucoup moins nombreux). « Une telle association végétale constitue la forêt mixte et demande pour se développer des conditions climatiques particulières : hivers doux, étés longs, chauds avec une humidité permanente » (M.-F. Ollivier-Pierre, 1980, p. 199).

En conclusion, l'identité de la flore contenue dans les argiles des paléovallées du Tenu, de l'Ognon et de la Boulogne, et dans celles qui jalonnent le pourtour du lac, révèle l'unité géographique de ce milieu de sédimentation et la contemporanéité des dépôts. Seule une différence d'altitude minime sépare les faciès continentaux et les faciès laguno-marins. Lors de la transgression yprésienne, les influences marines ne purent pénétrer dans la vallée du Tenu, dans le lac et dans la vallée de l'Ognon que par la vallée de la Loire (une courte pré-Loire existait déjà avant le Cénomaniens). Une vaste dépression existait déjà sur l'emplacement actuel du lac, à laquelle aboutissaient des vallées larges, peu

profondes et très marécageuses (Ognon, Redour, etc.). Des dépôts ilerdiens ont vraisemblablement tapissé le fond de la dépression du lac actuel, mais les effondrements post-biarritzien ont entraîné vers 20 à 30 m de profondeur ce qui avait pu en subsister.

**e4. Cuisien. Sables et grès siliceux éocènes. Blocs de grès.** Sur la rive gauche du Tenu, à l'Ouest du château d'Ardenne, ainsi qu'entre le Chêne et la Mojetière, subsistent de gros blocs et des dalles de grès siliceux, épars, patinés et de couleur brune, vestiges d'une formation plus importante. Aucun gisement de sable résiduel ne semble leur être associé. Cependant, par leur faciès et leur situation dans une zone basse, ils rappellent les grès du moulin des Penauds (= le Cromlech, à 1,5 km au Sud-Est de Saint-Hilaire-de-Chaléons) et de la Bitauderie (à 1,5 km au Nord de Cheméré), qui reposent sur des sables blancs très fins superposés à des argiles renfermant une flore ilerdienne (feuille Machecoul à 1/50 000).

Le faciès de ces grès-quartzites suggère aussi un rapprochement avec les grès du bois de la Chaize à Noirmoutier (*cf.* feuille Noirmoutier—Pointe de Saint-Gildas à 1/50 000). A Montbert, dans les fondations de l'église, des restes de végétaux ont été observés par de Tromelin en 1868, dans des bancs de grès siliceux à grain très fin, de couleur lilas : empreintes de feuilles de *Nerium*, *Podocarpus*, des fruits de *Stellaria* et de *Callistris*. Ces grès étaient associés à des poudingues à grain fin. Sur la rive est de l'Ognon, au Sud du moulin Bleu de Montbert, subsiste un placage de sable blanc très fin, non consolidé, identique à celui du moulin des Penauds.

**e5c. Lutétien supérieur (Biarritzien). Sables et calcaires sableux à *Orbitolites complanatus*, meulière du moulin de la Nation.** Plusieurs gisements témoignent de l'importance de la transgression du Lutétien terminal (Biarritzien) dans l'Ouest de la France.

● **Gisement de Saint-Aignan-de-Grand-Lieu** (planches I et II). A 2 km à l'Ouest de Saint-Aignan, des sondages effectués par J.-M. Viaud dans les prairies basses qui bordent le lac ont atteint un gisement de sable à très riche faune lutétienne (x : 297,16; y : 243,36; z : + 1 m), épais de 0,30 à 1,35 m, sous un recouvrement d'alluvions quaternaires et de sables calcaires du Redonien. La faune, parfaitement conservée, présente de grandes similitudes avec celle du gisement de Bois-Gouët (en Saffré) (Biarritzien) au Nord de Nantes, avec celles du Bassin de Paris, du Cotentin et de l'Aquitaine; on relève plus d'affinités avec les bassins nordiques (Angleterre, Belgique) qu'avec le domaine méditerranéen.

Le milieu est franchement marin et de caractère littoral. On y trouve des Bivalves : *Barbatia subbarbatula* (Dufour), *Crassatella intercrenata* Cossmann, *Plagiocardium subpassyi* (Dufour), des Gastéropodes : *Clypidina defrancei* (Cossmann), *Benoistia muricoides millegranum* (Cossmann), *Cypraedia cailliaudi* (Vasseur), *Pseudomalaxis eurychone* (Cossmann), *Rimella fissurella* (Lamarck).

Les Madréporaires sont représentés : par des coraux non récifaux : *Stylocoenia monticularia* (Schw.), *Stylocoenia emarciata* (Lamarck) et *Astrocoenia microstella* (Michelin); par des coraux récifaux, groupés en petites colonies : *Stylophora* sp., *Acropora cf. solanderi* (Defrance) et *Goniopora bellula* (Michelin).

Les Echinides comprennent *Praescutella marginalis cailliaudi* Cotteau, *Scutellina michelini* Cotteau. Parmi les Nummulites, trois espèces essentielles sont présentes : *Nummulites meneghinii* d'Archiac, *N. biarritzensis* d'Archiac et *N. brongiarti* d'Archiac, dont l'association indique un âge lutétien supérieur,

voire lutétien final (biozone biarritzienne). On trouve, en outre, des Ostracodes nombreux, des Foraminifères, des Bryozoaires et des restes de Poissons (dents et otolites) (J.-M. Viaud et *al.*, sous presse).

Le sable quartzeux qui sert de matrice à cette faune, de caractère très littoral, a un façonnement de milieu agité (zone intertidale) : les grains sont limpides, émoussés-luisants et ronds-luisants; il n'y a aucun feldspath; parmi les minéraux lourds, domine la staurotide, alors qu'aucun gisement important n'est connu au voisinage (mais ce minéral est abondant dans les sables crétacés); le grenat est fréquent (17 à 35 %) et d'origine locale (amphibolites). On n'observe aucun minéral calcique tel qu'amphibole ou épidote, pourtant abondants dans les roches du socle environnant.

A 0,6 km au Nord (Launay), des sables blancs très fins, fossilifères, pourraient appartenir à la même formation.

● **L'extrémité orientale du bassin de Machecoul** forme une plaine horizontale entre la Poterie et la Cantinière; la limite nord du bassin est bien marquée par une paléofalaise de micaschistes, correspondant au relief de ligne de faille qui prolonge le talus tectonique de la pointe Saint-Gildas à Machecoul et qui se poursuit jusqu'à la Marne. A l'Est, l'Éocène est recouvert par les sables et les cailloutis pliocènes. A la Cantinière et à Gargoulet, il est représenté, à la base, par des sables englobant de nombreux galets de quartz, anguleux ou arrondis, surmontés par des plaquettes de calcaires sableux à *Milioles* dont le faciès est identique à celui des calcaires dolomitiques à *Orbitolites complanatus* du bassin de Machecoul. A 200 m au Sud-Ouest des Basses Poteries, les plaquettes calcaires sont intercalées dans du sable roux, épais de plus de 5 m, tandis qu'à la Poterie, le faciès est uniquement sableux sur plus de 5 m d'épaisseur. Sous les sédiments éocènes, le micaschiste est fortement altéré et localement recouvert d'une couche d'argile blanche kaolinique, qui peut atteindre 2 m (les Basses Poteries, Gargoulet).

---

## Fossiles du Lutétien supérieur (Biarritzien) de Pierre-Aiguë en Saint-Aignan-Grand-Lieu (44).

### PLANCHE I.

Gastéropodes.

1. *Clypidina defrancei* (Cossmann).
2. *Benoistia muricoides millegranum* (Cossmann).
3. *Pseudomalascis eurychone* (Cossmann).
4. *Cypraedia cailliaudi* (Vasseur).
5. *Rimella fissurella* (Lamarck).
6. *Melongena namnetensis* (Vasseur).

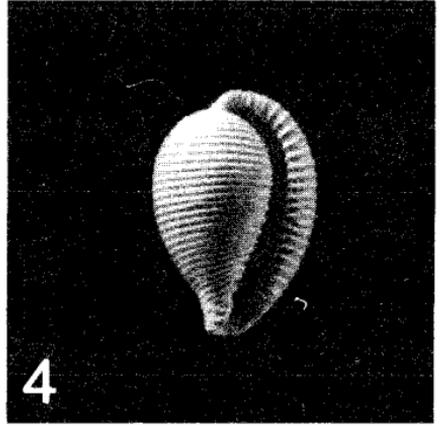
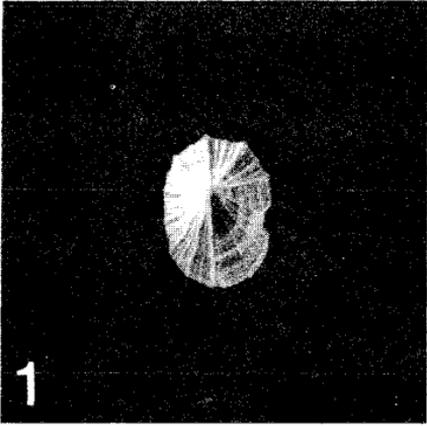
### PLANCHE II.

Bivalves.

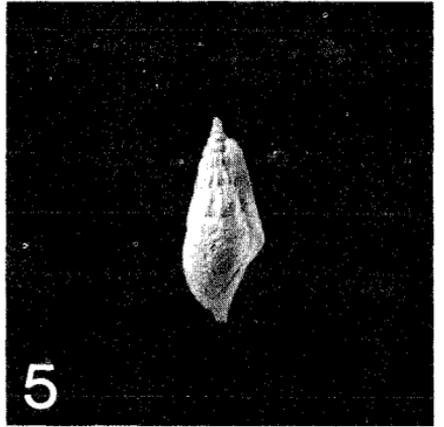
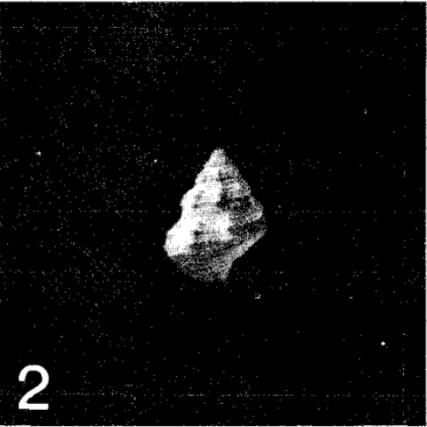
- 7a et 7b. *Barbatia subbartula* (Dufour), valve droite.  
8a et 8b. *Crassatella intercrenata* (Cossmann), valve gauche.  
9a et 9b. *Plagiocardium subpassyi* (Dufour), valve droite.

Déterminations des Gastéropodes : Ph. Brebion; des Bivalves : A. Lauriat-Rage (Muséum d'Histoire naturelle de Paris).

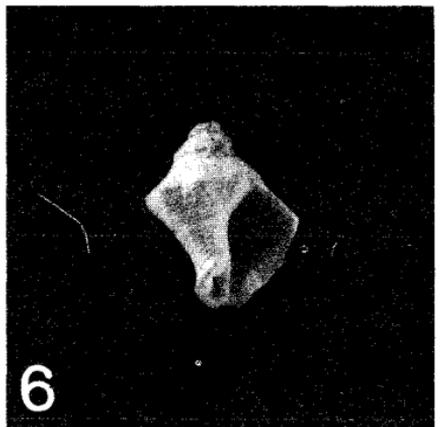
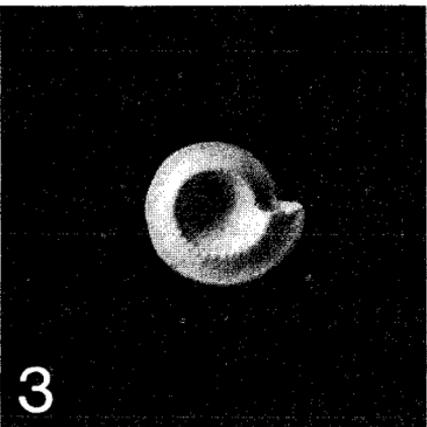
Clichés photographiques : D. Serrette (idem).



1 cm



1 cm



1 cm

1 cm

# PLANCHE I

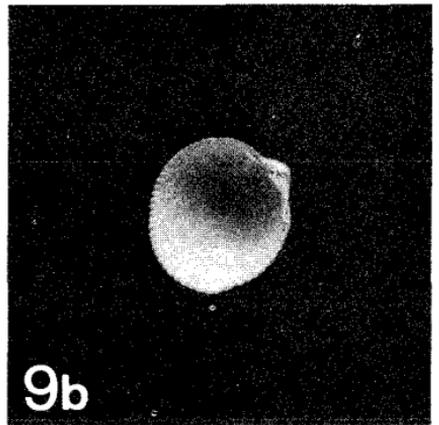
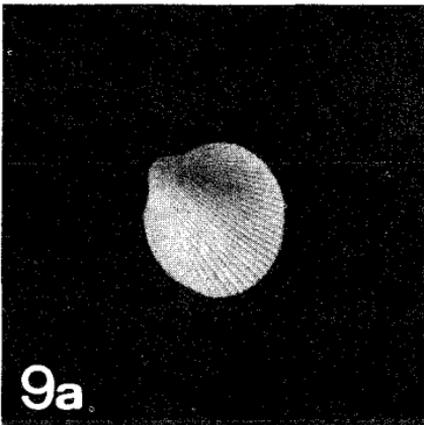
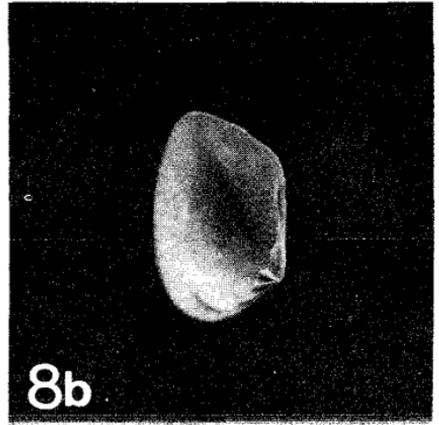
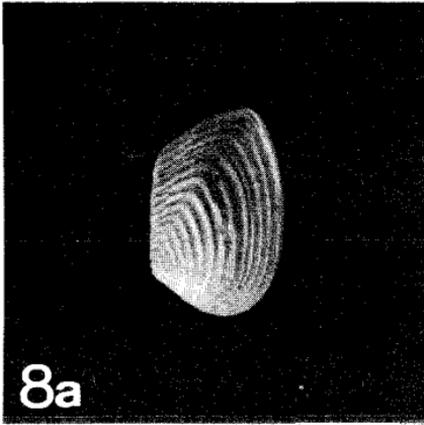
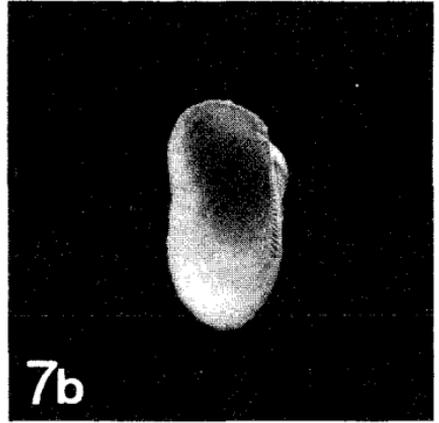
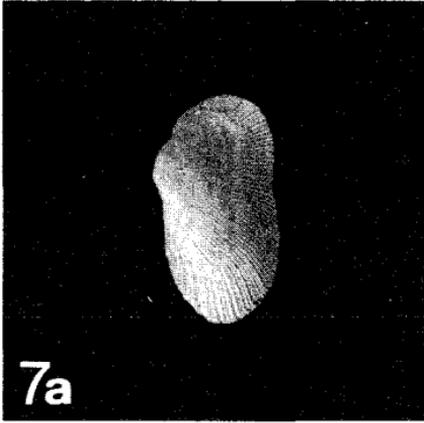


PLANCHE II

1 cm

● **Sables et meulières du moulin de la Nation, en Saint-Lumine-de-Coutais.** A l'angle sud-ouest du lac, sur la bordure nord de l'orthogneiss de la Haye, subsiste un placage de sable décalcifié qui culmine à 35 m, au moulin. Le sable est roux, épais de 4 à 6 m; tout à la base, au-dessus d'un mince gravier siliceux, subsistent quelques plaquettes de calcaire gréseux silicifié, avec nombreuses *Miliolidae*, *Quinqueloculina*, *Alveolina*, *Orbitolites*. Les *Rotaliidae* sont rares.

Dans les sables, on trouve de nombreux fragments épars de meulière, avec *Ostrea subelongata*, *Praescutella cailliaudi*. Les associations de Foraminifères sont caractéristiques du Lutétien terminal *N. brongniarti* d'Archiac, *H. armoricensis* Vasseur, avec *Rotalia* aff. *lithothammica* Uhlig, *Pararotalia subinermis* Bathya, *Epistomaria semimarginata* d'Orb., *Fabularia* sp., *Orbitolites*; *Alveolina elongata* d'Orb. et *Lituonella* sp. sont caractéristiques du Biarritzien.

Comme sous le bassin de Machecoul, la surface prélutétienne est localement très altérée, comme en témoigne l'abondance des pisolithes ferrugineux trouvés à la surface de l'amphibolite de la Retarderie.

En bordure du lac, au Nord-Ouest de Saint-Lumine, affleurent des sables blancs très fins; à 300 m à l'Est de Malsaine, ils reposent sur des argiles grises feuilletées.

Tous ces dépôts sont plus ou moins recouverts par des colluvions, remaniant les sables et graviers pliocènes.

● **Biarritzien submergé du lac de Grand-Lieu.** Les terrains de l'Eocène supérieur ont été reconnus dans 6 sondages, mais la faune n'a été décrite, par P. Marie, que dans trois d'entre eux (2-2, 2-5, 2-8). L'Eocène des autres sondages appartient vraisemblablement au même étage, comme les autres gisements de la région (Saint-Aignan, moulin de la Nation, bassins de Machecoul, de Chauvé et de Challans).

Dans le sondage 2-2, le Biarritzien se trouve sous 6,90 m de sables et graviers pliocènes, dans le sondage 2-5, sous les vases subactuelles, épaisses de 8 m, dans le sondage 2-8, sous 5,90 m de graviers pliocènes.

Les cotes des sédiments éocènes sont les suivantes :

- 2-1 : entre — 5,10 et moins de — 24,90 m NGF
- 2-2 : entre — 4,51 et moins de — 14,30 m
- 2-5 : entre — 7,45 et moins de — 18,90 m
- 2-6 : entre — 11,35 et moins de — 18,35 m
- 2-7 : entre — 4,35 et moins de — 16,95 m
- 2-8 : entre — 5,70 et moins de — 16,3 m.

L'Eocène est donc beaucoup plus épais à l'Ouest du lac (sondages 2-5, 2-6, 2-7, 2-8) et au Sud-Est (2-1 et 2-2) que dans sa partie nord-est. A 1,5 km à l'Ouest de Saint-Aignan, le Biarritzien, situé sur un interfluve, n'est épais que de 1,5 m et il repose sur le socle (J.-M. Viaud). Dans les sondages 2-3 et 2-4, le toit du socle est à — 3,35 et à — 3,45 m; par contre, au Sud-Ouest, le Biarritzien est présent à — 4,35 m (en 2-7) et descend au-dessous de — 18,35 m (en 2-6). La base de l'Eocène n'a été atteinte dans aucun des sondages 1, 2, 5, 6, 7 et 8; dans le sondage 2-1, elle est inférieure à — 24,90 m. Cette disposition des gisements éocènes laisse supposer l'existence d'une faille de direction NW—SE, voisine du Sillon houiller, entre le Surchaud et la Thibaudière, et d'une autre faille orientale N.NE—S.SW, de Passay à la Grande Suzeraine.

La faune comprend des Lamellibranches, des Gastéropodes, des Echinodermes, des Polypiers, des Bryozoaires. Parmi les Foraminifères, on trouve : *Discorinopsis kerfornei* Allix, caractéristique du Biarritzien, ainsi

qu'*Orbitolites complanatus* d'Orb., *Clavulina columnatortilis* Des., *Valvulina triangularis* d'Orb., *Alveolina boscii* d'Orb., *Spirolina*, *Asterigerina*, *Globulina*, des *Rotalia*, des *Miliolidae* et des *Rotaliidae*. La flore comporte des Dasycladacées.

● **Lutétien moyen à supérieur de la vallée de l'Ognon.** A 500 m au Nord de Rétoré-Guibert (x : 311,8; y : 230,5; z : + 20 m), un lit d'argile noire, épais de 0,20 m a été trouvé sous 4 m de sables et de cailloutis pliocènes; un sondage, effectué par J.-M. Viaud, a pu établir que cette argile recouvre des sables et des argiles épais de plus de 10 m et qui reposent sur le socle. L'argile noire contient une flore éocène d'environnement laguno-marin, dont le détail est le suivant (détermination J.-J. Châteauneuf) : *Tsugaepollenites mesozoicus*, *Tricolporopollenites megaexactus brühlensis*, *Oligosphaeridium* sp., *Monoporopollenites cuvillieri*, *Pinus diploxylon*, *Glaphyrocysta* sp., *Tricolporopollenites* sp., *Lygodium*, *Homotryblium pallidum*, *Cupressaceae*, *Spiniferites ramosus ramosus*, *Tetracolporopollenites* sp. (*Sapotaceae*), *Cicatricosisporites dorogensis*, *Aquifoliaceae*, *Areosphaeridium arcuatum*, *Cordosphaeridium* sp., *Subtriporopollenites anulatus*, *Ulmaceae*, *Juglandaceae*, *Tricolporopollenites crassus*?, *Dicolpopollis cockeli*, *Diporites* sp.

L'association de Dinokystes permet de supposer que cet échantillon provient d'une formation laguno-marine de l'Eocène moyen à supérieur, en raison de la présence d'*Aerosphaeridium arcuatum* et de l'absence de pollens chauds de l'Eocène inférieur.

m2a. **Helvétien. Calcaires faluniens (les Jarries).** Le seul dépôt pouvant être attribué au Miocène est situé aux Jarries, entre la Marne et la Limouzinière (x : 295; y : 229,6; z : + 25 m). Il comprend des calcaires à galets quartzeux surmontés par des faluns de type savignéen. Ce témoin de la transgression helvétique s'étend de part et d'autre de la route départementale 87 et tapisse le fond de la vallée préhelvétique du ruisseau des Jarries, large ici de 200 à 300 mètres. Recouvert par 1 m de colluvions sableuses, il est épais de 2 à 3 m et repose directement sur le socle. On y trouve des Bivalves : *Pecten* (*Pecten*) *praebenedictus* Tourn., *Ostrea* (*Ostrea*) *variabilis* Millet, *Chlamys* (*Chlamys*) *pusio* (Linné) et *Chlamys* (*Aequipecten*) *radians* (Nyst), et des Bryozoaires : *Hornera reteporacea* Milne-Edwards, *Steginoporella elegans* (Milne-Edwards), *Metrarabdotos* sp. et *Sertella* sp.

Cette faune rappelle celle des gisements helvétiques de la région de Saint-Hilaire-de-Clisson (feuille Clisson). A l'Est, l'Helvétien est recouvert par des sables et des graviers pliocènes, à galets roulés, épais de plus de 2 mètres.

pR. **Redonien. Sables, argiles et calcaires.** La vaste dépression de Grand-Lieu a été entièrement recouverte par la mer pliocène, mais l'érosion quaternaire a enlevé une grande partie des dépôts, à l'Ouest du lac, où le socle est un peu plus élevé. Sous les sables et les cailloutis p2, le Redonien n'est connu qu'en bordure du lac et dans des paléovallées fortement encaissées. Leur altitude est située entre 0 m (Pierre Aiguë) et 10 m (la Planche au Bouin). Ces gisements se rattachent paléontologiquement aux autres dépôts redoniens du Nantais (bassin de Goulaine) et de la Vendée (Palluau, Saint-Hilaire-de-Loulay).

● **Gisement de Saint-Aignan.** Entre Pontrigné et le Pressoir, une mince couverture de dépôts redoniens subsiste sur les micaschistes à grenats  $\xi_6^2$ . Des calcaires ont jadis été exploités entre Pontrigné et les Jardières.

A Pierre Aiguë (x : 297,2; y : 243,5), sur la rive nord-est du lac, subsistent des argiles sableuses avec galets de quartz, épaisses de 0,80 m environ, reposant sur du sable blanc quartzeux. Bien qu'assez mal conservée, la faune

est riche et caractéristique du Redonien; on y trouve : des Bivalves : *Astarte (Astarte) omalii scalaris* Desh., *Nucula (Nucula) nucleus nucleus* (Linné); *Anadara (Anadara) diluvii* (Lamarck); *Glans (Centrocardita) aculeata serilis* (Lamarck) et *Megacardita striatissima* (Caillaud); des Bryozoaires : *Cupuladria caraniensis* (Busk), *C. haidingeri* (Reuss), *Metrarabdotos moniliferum* (Milne-Edwards), *Idmidronea cf. atlantica* (Forbes) et *Steginoporella elegans* (Milne-Edwards); des Echinides : *Echinocyamus pusillus* (Muller) et *Temnechinus bigoti* (Lambert et Thiéry); des Brachiopodes : *Terebratulina ampulla* Brocchi et *Terebratulina retusa (ex-caput serpentis)* (Linné); des Madréporaires : *Balanophyllia italica* (Michelin), *Sphenotrochus intermedius* (Goldfuss) et *Astrangia* sp. On trouve en outre, des Gastéropodes, des Balanes, des dents et des otolites de Poissons, ainsi que de très nombreux fragments de côtes d'*Halitherium* roulés par la mer redonienne. Ce dépôt avait été en partie reconnu par Caillaud dès 1861. Il repose tantôt sur le micaschiste, tantôt sur une mince couche de sables marins à faune biarriztienne, conservée dans de petites cuvettes.

Au Pressoir à 1 km à l'Est du précédent gisement (x : 298; y : 243,4) subsistent deux lambeaux de calcaires et de marnes très altérés, épais d'un mètre environ; ils renferment des Bivalves : *Glanus (Centrocardita) aculeata senilis* (Lamarck), *Megacardita striatissima* (Caillaud) et *Ostrea (Ostrea) edulis* Linné; des Bryozoaires : *Metrarabdotos moniliferum* (Milne-Edwards), *Lechenopora fungicula* (Michelin), *Margaretta cereoides* (Ellis et Solander) et *Celloporaria palmata* (Michelin); des Echinides : *Temnechinus bigoti* (Lambert et Thiéry) (de grande taille) et des restes de Sélaciens et d'*Halitherium*. Ce dépôt repose directement sur le micaschiste.

• **Gisement de la Planche au Bouin, en Pont-Saint-Martin.** Dans le village, tous les puits traversent les marnes fossilifères, épaisses de 4 à 5 mètres. Le dépôt comble la paléovallée d'un petit affluent de l'Ognon. Un sondage (P. Margerel et M. Ters) a traversé de l'argile verte (0,30 m), des sables marneux très fins (0,50 m), des sables rouges (0,10 m), des argiles ocre sableuses à glauconie (0,85 m) et des marnes sableuses à débris coquilliers (2 m), au-dessus du socle. Les espèces rencontrées sont courantes dans tous les gisements redoniens de la région. Bivalves : *Striarca (Galactella) lactea* (Linné), *Cardiocardita striatissima* (Caillaud in Mayer), *Pteromeris corbis* (Philippi), *Digitaria digitaria* (Linné), *Venus* sp. Gastéropodes : *Emarginula* (n. sp.), *Turritella subangulata spirata* (Br.), *Bittium reticulatum courtillerianum* (Millet), *Colina jucunda* (Millet). Bryozoaires : *Hornera* sp., *Cupuladria haidingeri* (Reuss), *Sertella* sp., *Discoporella umbellata* (Defrance), *Metracrabdotos* sp. Parmi les Foraminifères, *Heterolepa frequens* Margerel est le plus répandu. On trouve, en outre, des Madréporaires, des Brachiopodes, des Ciripèdes, ainsi que des fossiles éocènes remaniés (Alvéolines).

Dans ce sédiment resté calcaire, le grenat est abondant (50 %), ainsi que la hornblende et l'épidote. Encore conservé dans la partie amont, évasée, de cette petite vallée, le Redonien a été complètement enlevé par l'érosion au niveau de Pont-Saint-Martin.

A Bel Air, en Saint-Aignan, des argiles grises feuilletées, silteuses, existent sous les sables rouges feldspathiques; le sédiment se débite en lamelles millimétriques où alternent du sable blanc micacé extrêmement fin et de l'argile beige compacte composée surtout de smectites (70 %), associée à la kaolinite et à l'illite.

• **Gisement de la Freudière.** Décrit dès 1830 par Dubuisson, il a été étudié à nouveau par J.-M. Viaud. Situé à 3 km à l'Est de la Chevrolière, entre la route départementale 62 et le château de la Freudière, il remblaie la paléovallée du ruisseau des Huguetières sur 300 m, en direction E—W. Les calcaires et les

marnes grises sont épais de plus de 2 m et reposent sur le socle. Une faune abondante, mais de très petite taille, a été récoltée lors du creusement d'un puits (x : 302,9; y : 338,5; z : + 10 m) : des Gastéropodes : *Solariorbis dollfusi* Cossmann, *Tornus dollfusi* (Cossmann), *Bittium reticulatum courtillerianum* (Millet) et *Colina jucunda* (Millet); des Bivalves : *Arca* (*Arca*) *tetragona* Poli, *Megacardita striatissima* Caillaud, *Astarte* sp., *Pteromeris* (*Coripia*) *corbis* (Philippi); des Madréporaires : *Sphenotrochus intermedius* (Gold.), *Balanophyllia* sp. et *Astrangia* sp.; des Bryozaires : *Cupuladria haidingeri* (Reuss), *Steginoporella elegans* (Milne-Edwards), *Cellaria* aff. *sinuosa* Hassal; des restes de Sélaciens : aiguillons de Batoïdes, *Isurus retroflexus* et des otolithes, ainsi que de très petits piquants d'Echinides et des pinces de Crustacés.

• **Gisements des Etangs et de la Marnière.** A 4 km à l'Ouest de la Limouzinière, un système de larges paléovallées, convergeant vers le Sud, entoure la butte de Villette (37 m). Au Nord, un couloir déprimé, recouvert de colluvions sableuses, longe le talus tectonique du Rocher. Cette dépression circulaire est comblée par des dépôts marins redoniens : argiles vertes, marnes et calcaires coquilliers. Aux Etangs, Dubuisson signale *Cardita striatissima*, *Ostrea denticulata*, etc. Un sondage récent, effectué par J.-M. Viaud aux Etangs, au pied du relief de faille, a traversé 19 m de sables, de marnes et d'argiles, dont la base est fossilifère.

A la Marnière, à 2 km à l'Ouest de la Limouzinière, des sables et marnes redoniens riches en macrofaune viennent d'être découverts par J.-M. Viaud.

Rappelons l'existence, à 1,5 km au Sud-Ouest de Saint-Même-le-Tenu, de marnes redoniennes avec Huîtres, Foraminifères, Balanes, etc. (le Gât au Chat, feuille Machecoul).

• **Gisement du fond du lac de Grand-Lieu.** A 1,2 km au Sud-Ouest de Pierre Aiguë, à la lisière nord du lac, le sondage 2-4 a traversé des marnes redoniennes reposant sur les micascistes très altérés et recouvertes par 2 m de vases et d'argiles gris-bleu holocènes :

— de — 5,20 à — 5,90 m NGF : marnes grises renfermant des Lamellibranches (*Pectinidae*), des Gastéropodes, des Bryozoaires, des Ostracodes; parmi les Foraminifères, on trouve *Rotalia* cf. *armata* d'Orb., *Rotalia beccarii* v. *globulosa* Costa, *Polymorphina lecointrei* Allix et des *Miliolidae* (déterminations P. Marie);

— de — 5,90 à — 6,60 m : marnes jaunes renfermant la même faune, à laquelle s'ajoutent des Polypiers.

• **Flore redonienne, sur la bordure nord du lac de Grand-Lieu.** A la Noë-Nozou, la coupe suivante a pu être observée lors du creusement d'un puits :

- sable rouge feldspathique (de 11 à 6 m NGF),
- argile blanche, sur argile feuilletée grise (de 6 à 5 m),
- argile noire (de 5 à 4 m).

Cette argile a fourni une association de spores-pollens et de Dinokystes qui peuvent être rapportés au Pliocène. Les débris ligneux, les spores et les pollens sont parfaitement conservés et nombreux. Les familles, genres et espèces les mieux représentés sont : *Cupressaceae-Taxodiaceae*, *Pinaceae*, *Polypodiaceae*, *Juglandaceae* (*Engelhardtia*, *Carya*), *Fagaceae*, *Hamamelidaceae* (*Liquidambar*), *Betulaceae*, *Sphagnaceae*, *Aquifoliaceae* et *Osmundaceae*.

Parmi les Coniférales, on notera la présence de *Tsuga* type *canadensis*, *Picea*, *Pinus*, *Abies*, *Sciadopitys*.

Les kystes de Dinoflagellés sont présents : *Lingulodinium macherophorum*, *Homotryblium* sp., *Lejeunia* sp., *Achomosphaera* sp., *Cordosphaeridium* type *microtriaina* témoignant d'un environnement littoral qui ne fait pas de doute. Ceci est confirmé par la présence d'*Armeria maritima* poussant actuellement sur les dunes côtières.

La présence de pollens tempérés ou frais (*Abies*, *Tsuga*), l'absence de *Nyssaceae*, militent pour un âge pliocène et une température nettement tempérée. Un âge redonien est donc plausible pour ces échantillons (déterminations J.-J. Châteauneuf).

• **Caractéristiques de la transgression redonienne en Loire-Atlantique.** Comme en Vendée, les gisements redoniens sont tous conservés dans des paléovallées, surtout dans leur partie en amont, ou dans des dépressions préexistantes, alors que les faciès sableux et graveleux de la fin du Pliocène s'étalent largement sur l'ensemble du relief. Toutes les vallées côtières ont été transformées en rias au début de la transgression, puis submergées. Les gisements de la Gouretterie et du Mortier, à l'Ouest de Nantes, apportent la preuve que la mer pliocène a rempli la vallée de la Loire; elle est entrée dans le lac de Grand-Lieu par l'Acheneau, puis a remonté le cours de la Boulogne, de la Logne et a rejoint la vallée de la Vie, par Palluau.

Sur le territoire de la feuille Saint-Philbert, les gisements redoniens sont situés à de faibles altitudes (entre — 7 et + 10 m), alors qu'à Palluau, ils existent entre 14 et 28 m et sont fortement encaissés entre les plateaux avoisinants (70 m).

Au maximum de la transgression redonienne, aucun relief ne devait émerger dans le périmètre de la feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu; au fond des rias et dans la cuvette du lac actuel, une faune variée vécut sous une faible profondeur d'eau (moins de 50 m); la sédimentation fut surtout sableuse et marneuse, avec formation de quelques couches calcaires de faciès falunien (la Freudière).

La faune comprend : des formes de la zone littorale ou infralittorale, vivant entre 0 et 20 m de profondeur : Foraminifères, Bivalves et Gastéropodes; des formes un peu plus profondes (de 30 à 50 m) : certains Bivalves (Pectinidés et Astartidés) et les Bryozoaires, peut-être aussi les Madréporaires. La faune de Bivalves redonienne de Vendée vivait probablement sous un climat voisin du type méditerranéen, ayant déjà subi un important refroidissement depuis l'époque des faluns. A Palluau, les groupements fauniques étudiés montrent que la température des eaux devait être voisine de celle qui règne sur la côte atlantique du Maroc. Les faunes de Foraminifères, de Bryozoaires et de Bivalves ont des affinités à la fois méditerranéennes et nordiques; les Gastéropodes sont plus franchement méditerranéens (M. Ters et al., 1970).

Au-dessus des faciès marneux, l'envasement progressif des rias se traduit par le dépôt de sédiments argileux (argiles vertes des Etangs). Lors du retrait de la mer pliocène, le socle fut balayé par des courants violents, favorisés par l'existence d'un réseau de vallées très dense; l'érosion fut d'autant plus forte que le socle était profondément ameubli par les altérations dues aux climats tropicaux du Secondaire et du Tertiaire. D'énormes masses d'argiles, de sables et de graviers siliceux, transportés par les courants et étalés dans la zone intertidale, comblèrent toutes les dépressions, puis recouvrirent tout le relief jusqu'à 45 m d'altitude au moins (sables et graviers p2).

p2. **Pliocène. Sables rouges et galets de quartz et de silix.** Au-dessus des dépôts redoniens fossilifères, restés calcaires et qui tapissent le fond de certaines dépressions, des formations détritiques, surtout siliceuses, se sont accumulées pendant le retrait progressif de la mer pliocène, recouvrant toute la région jusqu'à plus de 45 m d'altitude. Lors de la régression, toutes les parties

du relief se sont successivement trouvées dans la zone de balancement des marées, ce qui a favorisé l'érosion du socle et celle des dépôts crétacés résiduels.

Au Quaternaire, ces dépôts furent vigoureusement attaqués par l'érosion, en milieu périglaciaire, si bien qu'ils subsistent surtout dans les parties déprimées du relief : vallées et cuvettes.

• **La nappe qui tapisse l'interfluve de Saint-Mars-de-Coutais** est constituée par des sables et des cailloutis dont l'épaisseur varie en fonction des faibles irrégularités du socle; en bordure, s'étendent d'épaisses colluvions. A la base un mince lit d'argile grise est recouvert par des dépôts lenticulaires de sable fin blanc, alternant avec des lits d'argile; au-dessus reposent des cailloutis à matrice sableuse, avec des galets de quartz et de silex noirs ou gris, remaniés du Crétacé supérieur. L'épaisseur totale atteint 6 m au moulin de Bel Air (en l'Effeterie), 8 à 10 m au Sud de Saint-Mars-de-Coutais (le Drouillet, le Verger); les dépôts sont moins épais sur le Houiller. A l'Est, les sables et les cailloutis plongent sous le marais et le lac : ils sont épais de plus de 4,5 m, à l'Est des Blanchères. Sous le lac, ils sont connus entre — 8,75 et — 11,65 m (sondage 2-6) et entre — 2 et — 5,90 m (sondage 2-8).

Au Sud de Saint-Mars-de-Coutais, les sables pliocènes masquent la présence de dépôts éocènes : argiles noires de l'Ilerdien et sables blancs très fins d'âge cuisien probable (cf. e3). A l'Est du Vigneau, la coupe fournie par trois puits (Guitteny, Douillard, H. Roux) est la suivante :

Altitude	Faciès	Age des dépôts
de 14 à 5,5 m NGF de 5,5 à 5 m	Sable rouge et cailloutis Lits d'argile blanche	Pliocène
de 5 à 4 m	Sable blanc très fin	Cuisien probable
de 4 à 3 m	Argile noire saumâtre	Ilerdien (Sparnacien supérieur)
	Socle	

Les dépôts ilerdiens, à microflore et Dinoflagellés, sont donc conservés sur le haut du versant est de la paléovallée du Tenu dans une situation analogue à celle des dépôts ilerdiens continentaux de la vallée du Redour (à l'Est du lac) où ils gisent entre 5 et 7 m NGF.

• **Sables et cailloutis de la région de Bouaye.** Ils recouvrent un panneau du socle cristallin, basculé du Nord vers le Sud, en direction du lac, dont la surface descend de 30 à 0 mètre. La couverture pliocène est presque continue, alors qu'elle a été érodée à l'Ouest de l'Acheneau où ne subsistent que des placages restreints. Elle atteint 26 m d'altitude aux Durandières, 28 m à Château-Bougon et plonge à moins de 0 m, sous le lac, au Sud. A l'Ouest de Bouaye, au-dessus d'une mince couche d'argile kaolinique blanche, la base des dépôts est formée de sables rouges fins, recouverts par des nappes de cailloutis à galets roulés. A l'Ouest de la Chaussérie, son épaisseur dépasse 7 m, tandis qu'à la Maugendrie, elle ne dépasse pas 2 mètres. Au Sud de la Beauvaiserie, le sable rouge, très feldspathique, est épais de plus de 2 mètres. A Bel Air et à la Noë-Nozou, il atteint 8 m de puissance. Il est localement grossier (la Robrie). Au Sud des Bauches-du-Désert, l'épaisseur des sables dépasse 7 m (sondage 2-61). A l'Ouest de l'Acheneau (la Quetterie), le sable est

argileux, riche en glauconie et épais de 4 m; il est recouvert par des sables soufflés éolisés (0,4 m) sur lesquels s'étend une nappe de cailloutis de solifluxion périglaciaire (0,10 m), le tout masqué sous 1 m de limon éolien. A 300 m au Sud de la Grande Pelletanche, l'épaisseur du sable dépasse 4 mètres.

● **Nappe de cailloutis, entre Pont-Saint-Martin et Saint-Philbert-de Bouaine.** Elle recouvre un vaste glacis doucement incliné d'Est en Ouest entre la vallée de l'Ognon et la rive orientale du lac (de 30 m à Geneston à 3 m à Bellevue, soit une pente d'ensemble de 0,3 %); au-delà, ce panneau basculé plonge sous le lac. Les sables et les cailloutis forment des nappes superposées lenticulaires ou en poches. La surface en est parfois remarquablement plane, comme entre la Chevrolière, l'Arsangle et le Mortier. Dans ce secteur, on observe généralement cinq faciès superposés :

- de l'argile kaolinique blanche reposant sur le socle altéré (0,10 à 0,50 m);
- du sable grossier, ou même du fin gravier, avec du feldspath et de la muscovite (0,5 à 1 m);
- du sable rouge glauconieux, fin à très fin (4 à 8 m) (la Chevrolière). L'usure marine peut être très forte (les Durandières); parmi les minéraux lourds domine la staurotide, suivie par l'andalousite et la tourmaline;
- une nappe de cailloutis sableux à galets de quartz (1 à 3 cm de long) (1 à 2 m);
- une nappe de cailloutis à galets de quartz et galets crétacés remaniés (1 à 2 m) (la Douve).

Dans les couches de graviers, les stratifications obliques témoignent de la violence des courants, due aux irrégularités du socle.

La mer pliocène a détruit et remanié une très grande masse de dépôts meubles crétacés dont le gisement originel n'est pas connu, mais qui se trouvait vraisemblablement dans la dépression de Grand-Lieu, car ils y sont particulièrement abondants (Viais, Geneston, Pont-Saint-Martin, le Breil). Le pourcentage des galets crétacés, par rapport à ceux de quartz, atteint 50 % (la Chevrolière); de couleur grise, bleutée ou noire, ils sont constitués de roches silicifiées renfermant des Bryozoaires et des spicules d'Eponges; les Spongiaires silicifiées remaniés du Sénonien (*Jerea*) sont fréquents; on trouve aussi *Trigonia* cf. *limbata* d'Orb. et *Rhynchonella globata* Arnaud remaniées du Turonien supérieur.

Entre le Gotha et la Grande Ville, la couverture graveleuse est peu épaisse (1 m), mais elle repose sur plus de 6 m de sable rouge fin. Le petit bassin de la Janière a été exploré par de nombreux sondages électriques et mécaniques : sur des argiles blanches de base, les couches de graviers atteignent 1 à 4 m d'épaisseur.

La nappe à galets sénoniens est le dépôt terminal de la mer pliocène, au moment de la régression; sa surface plane, jonchée de galets roulés (de 1 à 3 cm) évoque un sédiment de plage, qui ne subsiste aujourd'hui que sur les points hauts, au sommet de buttes comme celle de la Raudière (à 600 m au Sud-Ouest de Viais).

Au Sud-Est de la carte, entre la Noue-Morin et la Getière, l'érosion a déblayé l'essentiel des dépôts pliocènes, laissant apparaître le socle schisteux altéré et les argiles kaoliniques de base.

● **Dépôts de la vallée de l'Ognon.** La puissance des dépôts pliocènes est en relation étroite avec la dissymétrie de la vallée : à l'Ouest, des placages subsistent sur les buttes de la Fallordière et de l'Essart (41 m); par contre, le cours d'eau actuel est surimposé dans un épais remblaiement dont la surface, plus basse, est encore presque plane. A la Bauche Argentière, elle comporte 4 m de sables et de galets, à stratification entrecroisée, reposant sur le granite

mylonitique  $\gamma^1$ . A 2 km au Nord de Montbert, entre le château et les Chaises, des dépôts de plus de 12 m ont été attribués au Pliocène; on y observe de haut en bas :

- des dalles de grès, reposant sur un sable blanc podzolique (0,50 m),
- du sable fin rubéfié (2 m),
- du sable grossier, avec intercalations de lits de galets de quartz roulés et de lentilles d'argile blanche (7 m),
- du sable moyen à grossier (plus de 2,5 m).

Les sables renferment des fossiles sénoniens (Lamellibranches, Spongiaires, Bryozoaires). Un niveau à plantes est signalé dans les sables, au Nord de Montbert, dans un puits. La présence des dalles siliceuses, au sommet de la formation, est un argument favorable pour donner un âge plutôt crétacé supérieur à ces sables : en effet, toutes les silicifications importantes observées dans la région sont bien antérieures au Pliocène, et même à l'Eocène moyen (cf. S. Durand, 1960).

Dans la partie amont de la vallée de l'Ognon, à 500 m à l'Est de la Barre, un sondage a traversé le Pliocène sur 1 m d'épaisseur, avant d'atteindre des argiles fossilifères du Lutétien moyen à supérieur, qui comblent la vallée sur 10 m d'épaisseur au moins.

• **Nappes de cailloutis de la région de la Marne.** Au Nord, le Pliocène s'appuie sur le talus tectonique qui prolonge à l'Est la ligne de relief méridional du Pays de Retz. Comme à l'Est du lac, la nappe s'abaisse d'Est en Ouest (de 38 à 6 m NGF); la plaine de cailloutis est accidentée de quelques vallons, encombrés de colluvions caillouteuses, comme entre la Charouillière et Paulx. A la Charouillière, on peut relever la coupe :

- 0,8 m : limon et cailloutis remanié, avec sable rond-mat,
- 0,8 m : sable fin rouge un peu argileux,
- 0,6 m : cailloutis à lentilles sableuses,
- 0,2 m : sable fin ou grossier,
- 2,0 m : cailloutis à nombreux galets de silex noir, de quartz, avec Spongiaires silicifiés (l : 1 à 3 cm),
- 2,0 m : sable grossier et gravier reposant sur le micaschiste par l'intermédiaire d'une couche cimentée par des oxydes de fer et de manganèse (J. Mounès).

• **Au pied du talus tectonique du Maupas,** s'étend une zone faillée qui fut affouillée par la mer redonienne (jusqu'à 19 m de profondeur aux Etangs), puis colmatée par des argiles redoniennes et enfin par des sables et des cailloutis; au Sud, la butte de Villette supporte quelques restes de la nappe à silex noirs crétacés. L'érosion a recreusé le réseau des vallées qui l'entoure complètement, laissant affleurer les argiles et les marnes fossilifères redoniennes et helvétienne (les Etangs, la Marnière). Aux Jarries, le falun helvétien est recouvert par 2 à 3 m de cailloutis sableux pliocène.

Les irrégularités de l'épaisseur des dépôts pliocènes résultent de ce qu'ils recouvrent un paléorelief bien différencié de vallées, d'interfluves et de dépressions. C'est dans le fond de ces vallées que sont conservés les rares gisements de Redonien fossilifère (la Planche au Bouin, la Freudière). Mais ces vallées sont bien antérieures au Redonien, puisque le fond de certaines d'entre elles est encore tapissé par des dépôts du Sénonien, de l'Illerdien ou du Lutétien. C'est dans ces chenaux que se sont accumulés les sables et les cailloutis de la fin de la transgression pliocène. Au moment du retrait définitif de la mer, la surface du terrain présentait l'aspect d'une vaste étendue de galets roulés, dépôts étalés dans la zone intertidale.

● **Phénomènes périglaciaires affectant les sables et les cailloutis pliocènes.** Le remaniement quaternaire de ces formations très meubles a été considérable. Il a consisté en un soufflage des sables de surface (sur 50 à 80 cm d'épaisseur), soumis à une très forte éolisation.

Ces masses sans cohésion ont été partiellement entraînées sur toutes les pentes par des coulées de solifluxion et accumulées dans les vallées.

Les fentes de gel sont très fréquentes à la surface des cailloutis :

— des fentes à remplissage grossier, formées en milieu périglaciaire humide, localement hautes de plus de 2 m (la Douve, la Charouillère);

— des fentes à remplissage éolien, formées en milieu périglaciaire aride et très froid, hautes de plus de 2 m (la Rivière) et même de 2,5 m (la Bourdinière); leur largeur est de 0,50 m au sommet.

Les sables et les cailloutis pliocènes sont exploités dans de petites carrières, pour empierrement et béton; mais la faible épaisseur et l'irrégularité des gisements, ainsi que leur granulométrie hétérogène, gênent leur utilisation.

#### FORMATIONS QUATERNAIRES

**FL. Alluvions lacustres anciennes (niveau 15 m). Argiles noires de la Haute Maison** (observées en sondage).

● **Gisement de la Haute Maison.** A la tête d'un vallon affluent de la vallée de l'Ognon (x : 301; y : 245,3; z : + 15 m), subsiste un dépôt d'argile d'eau douce, épais de 4 m, pauvre en Herbacées, mais riche en plantes aquatiques et en *Botryococcus*; il renferme aussi *Quercus* (20 à 50 % du total des arbres), *Tilia*, *Ulmus*, *Alnus*, *Pinus* (40 à 50 %), *Betula* et un pourcentage notable d'*Abies* (6 %), ce qui suggère un âge Mindel-Riss (analyses M. Denèfle). Le sable est fortement éolisé et renferme de la biotite fraîche en abondance.

● **Gisement de Belle Vue** (x : 297,25; y : 236,95; z : + 3 m) (déterminations J.-J. Châteauneuf). Au Nord de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, une argile organique a fourni une association à *Pinaceae* (75 %), *Compositae* (10 %), *Graminae* (*Artemisia*) (5 %), *Betula* (5 %), *Abies* (3 %), *Quercus* (1 %), *Alnus*, *Corylus*, *Carpinus*, *Castanea*, *Picea* et *Caryophyllaceae*, tout à fait comparable à celle décrite à la Haute Maison mais sans *Ulmus*. Il s'agit probablement d'un interglaciaire assez froid qui peut être attribué au Mindel-Riss.

Dans l'argile dominent la kaolinite et l'illite; les smectites sont peu abondantes (20 % environ).

**LP. Recouvrement des plateaux. Sables et limons éoliens.** Des placages de limons éoliens sont les témoins d'une couverture qui a dû être continue au moment de sa mise en place, mais on l'observe maintenant surtout sur les points hauts, où l'érosion ne l'a pas encore atteinte; l'épaisseur de ses témoins est faible (0,20 à 1 m au maximum) (la Sublerie, les Poitririères, l'Essart). La nappe de limon repose sur le socle par l'intermédiaire d'un mince cailloutis anguleux que l'on observe, vu par la tranche, sur les surfaces en pente douce (*stone-line*) Lorsqu'ils sont en place, les limons sont fins, beiges en surface, jaunes en profondeur. Les sols podzoliques qui y sont formés comportent localement, au sommet, un horizon lessivé blanc, constitué par une très fine poudre de quartz, peu fertile et de pH acide (5 à 6). L'horizon B est de couleur jaune et enrichi en argile. La fraction sableuse est très éolisée (90 % de grains mats, entre 100 et 800 microns); au voisinage des sables pliocènes, les limons s'enrichissent en grains luisants remaniés. Ils proviennent du soufflage des

poussières arrachées au socle cristallin altéré et des matériaux fins crétacés et tertiaires qui tapissaient la région; pendant les phases climatiques froides et arides de la glaciation wurmienne, l'éolisation des sables a été massive.

On y trouve le cortège des minéraux lourds des sables pliocènes et des sables crétacés (zircon, rutile, andalousite, staurotide dominante, disthène, etc.). Sur le massif granitique de la forêt de Touffou, le zircon est très abondant, ainsi que la tourmaline (les Trois Hermines); les amphiboles sont fréquentes (les Rembergères). Les dépôts de limon sont plus difficiles à identifier, à la surface des sables graveleux pliocènes avec lesquels ils sont mélangés. La plus grande partie des limons éoliens déposés au cours de la dernière glaciation a été enlevée par l'érosion; une partie est encore piégée dans les coulées de solifluxion périglaciaires, dans les dépôts de pente tardiglaciaires et holocènes, et dans la partie supérieure du remblaiement fluviatile holocène de fond de vallée, accumulée sous l'effet de la déforestation, du Néolithique à nos jours.

**Dépôts de versants : colluvions (C), formations de solifluxion (Cs), limons et sables.** Ces formations détritiques superficielles recouvrent la presque totalité du relief, masquant le socle cristallin, souvent altéré, dont elles remanient les fragments : quartz en débris anguleux ou émoussés, argile blanche ou jaune de décomposition des micaschistes, arène granitique, sables et galets du Pliocène. Les colluvions holocènes sont peu épaisses sur les plateaux (0,10 à 0,50 m), où elles recouvrent une partie des coulées de solifluxion périglaciaires. Entre les Rucherries et le Carteron, le versant de rive gauche du Tenu est jalonné par une série de petites buttes interfluves, sur lesquelles un résidu de cailloutis pliocène, mêlé à des fragments de micaschistes, s'est étendu par solifluxion et ruissellement.

Dans l'axe des vallons qui se raccordent aux vallées principales, leur épaisseur peut atteindre 2 m, comme le long des ruisseaux de Chevrier et du Brandy, affluents du Tenu, ou des vallons de Grandville et de la Pelletanche, qui descendent vers l'Acheneau : les alluvions holocènes y sont superposées aux dépôts périglaciaires. Sur le horst de Saint-Philbert, le vallon situé à l'Ouest du Grand Clavier comporte un remblaiement de colluvions limoneuses, mêlées de fragments de gneiss, épais de plus de 3 mètres.

En bordure des larges vallées creusées dans le Pliocène, comme celle du Tenu entre la Marne et Saint-Même, ou celle du ruisseau des Fontenelles, on observe un passage progressif des dépôts de versant à ceux qui tapissent le fond des vallées : ils sont constitués par des sables argileux jaunes, mêlés de grains de quartz éolisés, accompagnés de galets remaniés; l'épaisseur de ces dépôts atteint 1,5 m aux environs de la Marne.

Au bas des reliefs les plus vigoureux, l'accumulation des colluvions peut être importante, par exemple le long du relief de ligne de faille qui limite au Sud-Ouest le gneiss  $\zeta^3$  : cette zone faillée déprimée (localement occupée par du Pliocène) est colmatée en surface par des cailloutis sableux (plus de 2 m entre la Gravouillerie et le Maupas) ou par des sables éolisés (plus de 2 m à la Nicolière). De même, le talus tectonique des Rucherries (à 2 km au Sud de Saint-Même) est bordé d'éboulis sablo-graveleux, épais de 1 à 2 mètres.

**C**  
e5. **Colluvions sur Eocène.** A l'Ouest de Saint-Lumine-de-Coutais, les sables lutétiens sont en place au sommet de la butte du moulin de la Nation, mais ils sont soliflués et colluvionnés le long du talus qui descend vers le lac : à la Marzelle et la Retarderie, ainsi qu'à la Bernerie, ces sables remaniés atteignent 1 à 2 m d'épaisseur au pied du versant. En bordure du lac, à l'Est de Malsaine, des colluvions argilo-sableuses et graveleuses, épaisses de 1,5 m, reposent sur des argiles feuilletées éocènes.

**Cp2. Colluvions alimentées par les graviers pliocènes.** Les sables et les graviers pliocènes sont partout remaniés en surface; à l'Est du lac, ils forment des placages s'écoulant vers le fond de la dépression. Les vallées qui traversent ce vaste épandage sont encombrées de matériel sablo-graveleux remanié sur une épaisseur de 1 à 3 m (la Planche-au-Bouin). Au carrefour de Bel Air (en Saint-Aignan), des colluvions argilo-sableuses et graveleuses recouvrent le sable rouge pliocène et sont surmontées d'une couche de limon éolien (0,80 m). Même les plus petits vallons interfluves sont encombrés par des dépôts de ruissellement, comme entre Viais et Pont-Saint-Martin. De même, la vallée du Tenu et les vallées affluentes, autour de la Marne, sont comblées par d'épais matériaux colluvionnés, à partir du Pliocène (plus de 3 m au Nord-Ouest du Drillay et 2 m au Breuil). Les sables remaniés sont fortement éolisés.

**Cγ. Colluvions alimentées par les granites.** A la surface des divers massifs, là où la pente excède 2 %, des colluvions de débris siliceux et feldspathiques, mêlées de limon, tapissent les versants (le Champ Siôme, la Bauche, le Raffay).

En bordure du lac, à l'Est de Saint-Lumine, le pied du talus rocheux est bordé d'une couche de limon graveleux épaisse de 1 à 1,5 m (le Bas Fief, la Favrie), remaniant en abondance de l'arène granitique. Le relief de faille qui tranche le massif granitique de la forêt de Touffou est bordé, à son pied, par une épaisse accumulation d'arène, mêlée de limon (les Trois Hermines).

**FMz. Alluvions fluvio-marines : vases et sables. Remblaiement de la vallée de l'Acheneau.** Au Nord de Port-Saint-Père, les marais de l'Acheneau, qui drainent les eaux du lac et du Tenu, sont à une altitude basse (2 m) qui permet aux eaux de la Loire d'y refluer, en domaine fluvio-estuarien; un système d'écluses en contrôle le mouvement.

Dans l'étranglement situé entre Port-Saint-Père et Saint-Léger-les-Vignes, le remblaiement quaternaire de la vallée est connu, grâce aux sondages effectués pour la construction du nouveau pont, selon une coupe E—W (plus de R40 sondages). Entre Port-Saint-Père et Saint-Léger, le profil transversal de la vallée est dissymétrique, avec un versant oriental subvertical et un versant occidental à pente plus douce (fig. 2). Le talweg rocheux se trouve vers — 17 m NGF, sous le cours actuel de l'Acheneau, alors que la surface de la plaine alluviale se trouve entre 1,30 et 2 m d'altitude.

Le remblaiement comprend, du sommet à la base :

- des limons argileux bruns (de 0,5 à 1 m d'épaisseur),
- des vases tourbeuses noires molles (1 à 8 m),
- des tourbes (1,65 à 7 m),
- du gravier,
- des argiles plastiques, gris-vert ou gris-bleu (6 à 9 m),
- des sables argileux et des graviers (1 à 3 m), conservés au fond de la gouttière, sur la rive ouest.

● **La couche grossière de base** représente les restes, épargnés par l'érosion, du remblaiement fluvial périglacière wurmien, présent dans toutes les vallées du littoral atlantique français (Sur le remblaiement wurmien de la basse vallée de la Loire, cf. M. Ters et *al.*, 1968, et F. Ottmann et *al.*, 1968).

Les niveaux supérieurs ont été traversés en carottage continu, par le sondage CP 11, à 250 m au Sud-Ouest de l'église de Saint-Léger (cf. Coupes résumées de quelques sondages). Nous en donnons la description :

● **Les argiles plastiques**, gris-vert ou gris-bleu, fines et homogènes, constituent la base du remblaiement holocène, entre — 16 et — 6,70 m NGF. Leur dépôt, en milieu saumâtre, est corrélatif de la remontée de la mer vers le « haut niveau de Bréhec » (M. Ters, 1973). L'analyse pollinique en a été faite

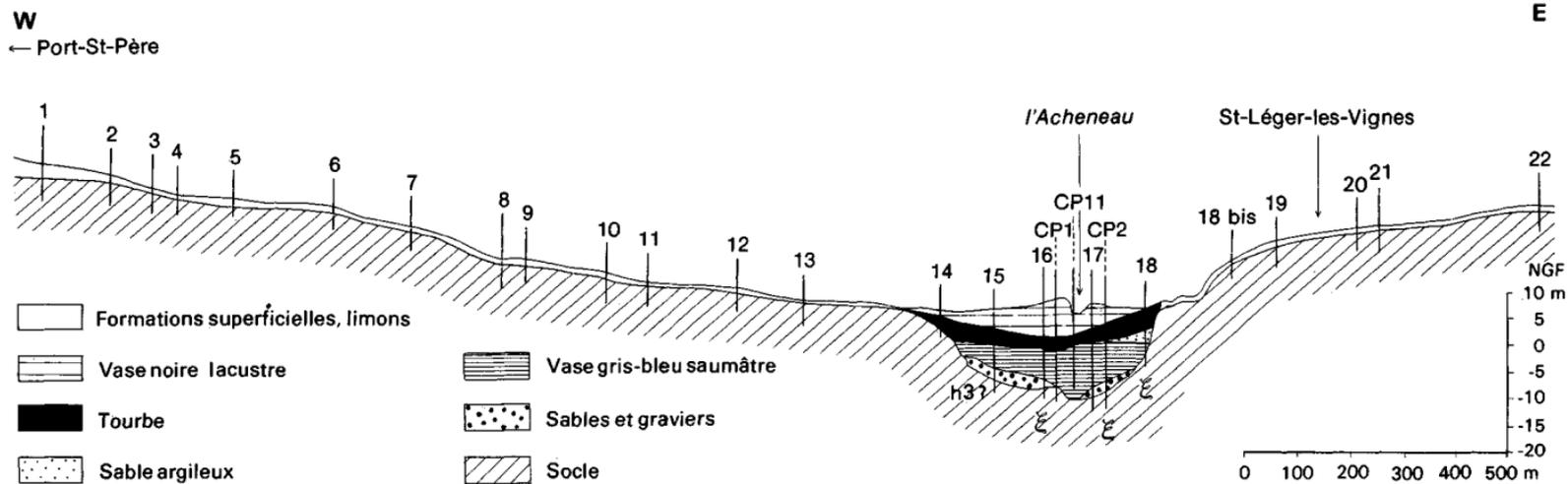


Fig. 2 - Profil de la vallée de l'Acheneau, à l'Ouest de Saint-Léger-les-Vignes

par L. Visset. Le diagramme pollinique, fig. 3 et 4, représente le résultat de l'étude des vases bleues du sondage CP 11, Port-Saint-Père I. La pénétration de la mer flandrienne dans la dépression de Grand-Lieu, par l'intermédiaire de la vallée de l'Acheneau, est attestée dès la base du sondage, par l'importance de la flore halophyle (Chénopodiacées). Cette invasion marine est datée à — 14 m NGF, de  $6\,345 \pm 145$  ans BP (Ny 747), donc de la deuxième moitié de l'Atlantique, pour se terminer à — 6,70 m vers  $5\,845 \pm 90$  BP (Ny 710), date des premières formations de tourbe sus-jacentes, ce qui correspond à un dépôt d'une puissance de 7,50 m de vase bleue pour environ 500 ans.

Cet envahissement par la mer est en parfait accord avec l'accentuation de la transgression (avec installation de schorres le long des vallées) à la fin de la première phase de l'Atlantique et pendant la seconde phase dans les marais de Grande-Brière, au Nord de la Loire (L. Visset, 1979).

A la base du dépôt, on enregistre deux courtes périodes régressives (de — 13,80 à — 13,40 m et de — 12,60 à — 12 m), pendant lesquelles les eaux, très pauvres en chlorure de sodium (présence toutefois de quelques kystes de Dinoflagellés et Chénopodiacées) permettent aux plantes aquatiques d'eau douce de reconquérir le milieu. L'aulnaie humide s'implante avec tout son cortège floristique (Cypéracées, *Myrica*, *Salix*, *Lythrum*, *Alisma*, *Nymphaea*, *Potamogeton*, *Typha*, *Sparganium*, *Myriophyllum*, *Osmunda*). Dans un contexte général transgressif à cette époque, il est probable que ces deux phases d'une durée d'environ chacune vingt années n'aient qu'une signification locale (cordons littoraux délimitant des zones marécageuses). Il sera donc intéressant d'étudier ultérieurement d'autres carottes de cette vallée, afin de préciser la portée de ce phénomène.

A partir de — 12,20 m NGF, la progression de la mer ne cessera plus jusqu'à — 6,70 m, c'est-à-dire jusque vers la fin de la période de l'Atlantique.

Durant la deuxième moitié de l'Atlantique, schématisée sur le diagramme pollinique de la fig. 4, la végétation régionale voit les forêts dominées par le chêne (*Quercus*), lié au noisetier (*Corylus*) et à l'aulne (*Alnus*), ce qui témoigne d'une humidité atmosphérique croissante. Le tilleul (*Tilia*) présente les plus beaux peuplements de son histoire holocène; tout en restant une espèce clairsemée dans le massif armoricain, il peut former quelques belles tillaies locales. L'orme (*Ulmus*) commence à diminuer et son déclin, lié à la fois à des facteurs climatiques et anthropiques, ne fera que s'accroître pendant le Subboréal et le Subatlantique. Le pin sylvestre (*Pinus*) est présent tout au long du profil et on notera la représentation sporadique du hêtre (*Fagus*) et du charme (*Carpinus*). Le chêne vert (*Quercus ilex*) présente une courbe de faible amplitude, mais quasi continue, ce qui concorde parfaitement avec son histoire régionale: apparu dès la fin du Boréal, cet arbre se développe pendant l'Atlantique, se maintient au Subboréal, pour se raréfier au cours du Subatlantique (N. Planchais, 1967). Le chêne vert, qui est une caractéristique actuelle du district de basse Loire, ne semble pas avoir pénétré dans la péninsule armoricaine, à l'Ouest d'une ligne allant de la baie du mont Saint-Michel à Nantes, même lors de l'optimum climatique de l'Atlantique, au cours duquel il a pu atteindre la Normandie.

Dans les parties marécageuses de la vallée de l'Acheneau, l'aulne domine dans les dépressions isolées de l'influence marine, associé au bouleau (*Betula*) et aux plantes aquatiques diverses. Par contre, toutes les zones soumises à l'influence de l'eau salée et situées au niveau du balancement des marées, sont couvertes d'une végétation de schorre à espèces halophiles avec *Obione*, *Statice* (Chénopodiacées) et *Armeria* (Plombaginacées).

● **Le gravier.** Dans le sondage CP 11, des dépôts uniquement lacustres sont superposés sans transition aux vases bleues. Dans un sondage réalisé par

L. Visset, sur la rive droite de l'Acheneau (Port-Saint-Père II : x : 291,05; y : 245,27, z : + 2 m), il a été mis en évidence, entre la vase bleue et les tourbes, l'existence d'un gravier d'une épaisseur de 20 cm, témoin du hiatus de sédimentation et de l'érosion à la fin de la période transgressive, c'est-à-dire au moment du « bas niveau de Tréompan » (M. Ters, 1973) où le niveau moyen de la mer s'abaisse jusqu'à — 12 m.

● **Les tourbes.** Le dépôt des tourbes, à l'extrême fin de l'Atlantique, au Subboréal et au début du Subatlantique, a été favorisé par la présence du colmatage précédent, la marée n'ayant plus accès dans le lac. Il a commencé vers 5 800 ans BP, comme dans les marais de Saint-Lumine (N. Planchais, 1967). Le diagramme pollinique réalisé par L. Visset retrace l'évolution de la végétation pendant une période allant de 5 800 à 3 600 ans BP environ (fig. 3).

Au-dessus des argiles grises, on trouve 0,35 m de tourbe plus ou moins décomposée, 1,30 m de tourbe particulièrement riche en morceaux de bois, puis un horizon de 0,10 m, mélange de vase et de tourbe, correspondant à la fin de la tourbification dans ce site, enfin 3,55 m de vase molle, noire sur le frais, devenant grise au séchage.

Les datations au  $^{14}\text{C}$  obtenues sur les tourbes (voir diagramme) permettent d'indiquer que celles-ci se sont édifiées entre 5 800 et 5 700 BP, c'est-à-dire vers la fin de l'Atlantique.

Comme dans tous les diagrammes du Massif armoricain, on éprouve ici une réelle difficulté pour délimiter l'Atlantique du Subboréal, du fait de la mauvaise représentation de l'orme et du tilleul dans les forêts bordières, dont les variations sont, de plus, masquées par l'aulnaie dominante de la tourbière. On peut toutefois mieux apprécier les changements en excluant du total du pollen, l'aulne et le saule, ce qui permet de placer raisonnablement cette limite vers — 4,20 m NGF, en accord avec la datation au  $^{14}\text{C}$  et au moment où la chênaie mixte (*Quercus*, *Tilia*, *Ulmus*) amorce son déclin.

A la base du diagramme (fig. 3), l'aulne domine sur la tourbière (— 6,65 à — 6,20 m NGF), puis décline assez rapidement (— 6,20 à — 4,90 m), pour ensuite se stabiliser entre 10 et 15 %.

La première phase correspond, après le retrait de la mer de la cuvette, à la montée de l'eau douce dans le marais, en relation avec la faible remontée ou même la stagnation du niveau marin que l'on connaît à cette époque. La tourbe s'édifie alors en eau peu profonde, ainsi qu'en témoigne l'aulnaie et la faible représentation des espèces aquatiques.

La deuxième phase voit l'eau douce monter dans la cuvette : l'aulnaie de la tourbière décline et meurt; la tourbe se constitue encore, mais est particulièrement riche en morceaux de bois appartenant aux aulnes dépérissants. Par contre, le niveau d'eau élevé favorise le développement des plantes aquatiques : espèces flottantes avec les nénuphars (*Nymphaea*) abondants, Potamogetonacées, Alismacées, avec de nombreuses Cypéracées entre lesquelles croissent iris d'eau (*Iris pseudacorus*), *Sparganium*, Typhacées (*Typha latifolia* et *angustifolia*), *Sagittaria*, Ombellifères. Dans les zones moins profondes, on note une flore hygrophile représentée par *Myrica*, par des Valérianiacées, spirées, salicaires (*Lythrum*), *Thalictrum*, Lysimaches (*Lysimachia*).

La troisième phase correspond au maintien d'un haut niveau aquatique et de ce fait à l'arrêt de la tourbification, remplacée par un dépôt de vase limoneuse plus ou moins chargée en matière organique. La végétation du marais est semblable à celle de la phase précédente.

L'histoire de la végétation des forêts bordières de cette fin de l'Atlantique et du Subboréal se résume surtout à la dominance de la chênaie caducifoliée dans

laquelle se mêlent de beaux peuplements d'orme, de tilleul et de chêne vert, qui présentent sensiblement les mêmes pourcentages que pendant l'Atlantique. Parmi les essences secondaires, on notera le frêne (*Fraxinus*) et le pin (*Pinus*).

Les étapes du remblaiement de la vallée peuvent varier d'un secteur à un autre. C'est ainsi qu'à Port-Saint-Père II, la tourbe ne s'édifie qu'à partir de 3350 BP, mais en continu jusqu'à nos jours, ce qui permettra d'obtenir l'histoire de la végétation au cours du Subatlantique.

● **Les vases noires molles tourbeuses** sus-jacentes à la tourbe, déposées pendant le Subatlantique entre — 4,90 et — 2 m NGF, sont uniquement lacustres. Le colmatage du marais s'effectua à l'abri des influences marines, peut-être en raison de la présence de cordons littoraux formant barrage.

● **Les limons argileux bruns** recouvrent localement les vases, surtout sur les bordures du marais. Ils se déposent encore actuellement en période de crue.

*Remarque.* La sédimentation dans le goulet de l'Acheneau s'est opérée de manière toute différente de celle du cours inférieur de la vallée de la Loire. A l'Ouest de Saint-Léger, elle s'est effectuée en liaison étroite avec les variations du niveau de la mer : les argiles vertes saumâtres se sont déposées jusqu'à — 7 m, pendant le haut niveau de Bréhec (— 8 m de niveau moyen, vers 6 200 ans BP) ; le marnage étant voisin de 6 m, les schorres s'étendaient donc à 1 m sous le niveau des hautes mers, comme c'est le cas aujourd'hui dans les zones soumises à l'action des marées, dans ce marais ; la régression de Tréompan (— 12 m vers 5 500 BP) se traduit par la formation d'un gravier et le dépôt de tourbes du Subboréal.

A l'opposé, la sédimentation dans la vallée de la Loire s'est effectuée, depuis le début de l'Atlantique, sous une épaisse tranche d'eau (cf. M. Ters et al., 1968) : ainsi, les sédiments du début du Subboréal se déposent vers — 36 m à Mindin, vers — 26 m à Donges et vers — 5 m à Port-Saint-Père.

**Flz. Alluvions fluvio-lacustres : vases et sables. Alluvions holocènes du lac de Grand-Lieu.** En partie asséchée pendant l'été, mais largement inondée en hiver, cette dépression est colmatée, en surface, par des vases noirâtres, reposant localement sur des argiles sableuses, et par des tourbes. Une série de sondages, effectuée en 1948, a permis de reconnaître la nature et l'épaisseur des terrains holocènes, en quelques points du lac. Ceux-ci reposent tantôt sur le Pliocène seul (sondage 2-4), tantôt sur le Pliocène et l'Eocène superposés (en 2-2, 2-6, 2-7, 2-8), tantôt sur l'Eocène seul (2-5), tantôt sur le socle (2-3). Les sédiments holocènes comprennent :

— au sommet, des vases noirâtres à gris-bleu, plus épaisses au Nord et à l'Ouest du lac, qu'à l'Est ; elles semblent remplir une gouttière nord-sud, sur la rive ouest, entre l'Effeterie et le moulin de la Grève ; elles sont absentes en 2-2. Elles sont comprises entre 0,10 et — 1,50 m NGF en 2-1 ; entre 0 et — 2,10 m en 2-3 ; entre 0 et — 0,95 m en 2-4 ; entre 0 et — 7,90 m en 2-5 ; entre 0 et — 7,30 m en 2-6 ; entre 0 et — 2,70 m en 2-7 et entre 0 et — 2,20 m en 2-8. Ces vases pourraient correspondre aux vases noirâtres supérieures, traversées dans le sondage CP 11, au Sud de Saint-Léger-des-Vignes (entre — 3 et — 7,10 m) ;

— au-dessous, des argiles verdâtres, plus ou moins sableuses, trouvées dans deux sondages, entre — 0,95 et — 2,20 m (en 2-4) et entre — 7,3 et — 8,75 m (en 2-6). Ces dernières correspondent aux vases gris-bleu trouvées dans le sondage CP 11, entre — 8,85 et — 16,50 m. La dépression du lac communiquait avec la Loire, lors de leur dépôt.

Des tourbes se sont formées à la périphérie du lac (au Nord, au Sud et à l'Ouest). La puissance de la tourbe est de 0,5 à 4 m sous les pâturages de la

bordure et de 4 à 5 m sous les phragmitaies; elle atteint 7 m au Sud de Saint-Mars-de-Coutais et de Bouaye. D'après N. Planchais, la formation de la tourbe a commencé après 7 000 BP au Nord-Est de Saint-Lumine. La partie inférieure (de 4,80 à — 3,20 m NGF) se classe dans la zone VII-a (Atlantique) : la chênaie mixte domine, en dehors de l'aulnaie; des pollens de type « céréale » sont présents. Au-dessus, les sédiments de la zone VII-b (Subboréal) (de — 3,20 à — 2,10 m) témoignent d'un certain assèchement du marais et de l'installation du taillis inondé, à aulnes et bouleaux, en remplacement des hygrophytes. Au sommet, la flore, de type plus humide, appartient à la zone VIII (Subatlantique), de — 2,10 à + 0,20 m.

**Fz. Alluvions actuelles et subactuelles (Holocène) : limons remaniés, sables et graviers pliocènes remaniés.** —  $\frac{Fz}{p2}$ . **Alluvions holocènes masquant le Pliocène.** — T. **Tourbes.** Comme dans tout le massif vendéen,

les vallées actuelles comportent un remblaiement holocène qui repose soit sur des formations graveleuses périglaciaires, peu épaisses, soit sur des dépôts tertiaires qui subsistent dans le fond de nombreuses paléovallées d'âge ilderdien, lutétien ou pliocène. Dans cette région, où la presque totalité des matériaux sablo-graveleux est remaniée du Pliocène, il est souvent malaisé de faire la distinction entre les sables et les cailloutis pliocènes en place, les colluvions qui tapissent les versants et les alluvions fluviales qui les reprennent, ainsi qu'avec les alluvions périglaciaires de fond de vallée : toutefois, le critère sûr permettant de séparer le Pliocène des dépôts quaternaires est la présence de sable éolisé, caractéristique de ces derniers.

Dans les fonds de vallées, le remblaiement holocène, épais de 1 à quelques mètres, est constitué, du haut vers le bas, par des limons argileux, des limons sableux et des sables à lits de graviers intercalés, plus ou moins abondants selon la région traversée par le cours d'eau.

Dans la vallée du Tenu, entre Saint-Même et le château d'Ardenne, le lit majeur, à fond plat, atteint 100 à 200 m de large; il est rétréci entre le Brandy et la Préauté, où la rivière coule entre des talus à pente raide; la vallée atteint de nouveau 200 m de largeur au Bois Jouan, tandis que le lit mineur n'a que 10 à 12 mètres. L'encaissement du lit mineur dans la plaine alluviale est au maximum de 1,5 m (Saint-Même); les vallées affluentes du Tenu, très encaissées, comportent aussi un remblaiement à fond plat, hérité des écoulements périglaciaires (la Bigotterie).

Sur une grande partie de leur cours, les rivières traversent les nappes de cailloutis pliocènes (Boulogne, Ognon, Tenu et leurs affluents). Au Bois-Grassin, le large lit majeur de la vallée du Falleron est colmaté par 2 à 3 m de sable éolisé, mêlé à des galets. A l'Ouest de la Marne, le fond de vallée est tapissé par un limon caillouteux d'un mètre d'épaisseur, recouvrant lui-même 1 à 2 m de cailloutis sableux remanié à grains de sable éolisé (la Breille, la Pommeraiie). Dans la vallée du ruisseau des Fontennes, au Sud de Saint-Hubert, l'épaisseur des alluvions, alimentées par des colluvions de versant, dépasse 4 mètres. Au Nord-Est de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, la vallée du Redour comporte trois remblaiements superposés : des argiles ilderdiennes à la base, recouvertes par des sables et des cailloutis pliocènes (3 à 5 m), remaniés en surface, tant pendant les périodes froides du Quaternaire qu'à l'Holocène, où ils sont mélangés à des limons éoliens descendus des plateaux.

A l'estuaire de la Boulogne, sous le pont de la déviation de Saint-Philbert, 4 sondages effectués en bordure de la rivière, au Nord et au Sud, ont traversé le remblaiement holocène, qui culmine à 1 m NGF; il se compose, de haut en bas :

— de limons sableux jaune clair et de sables argileux, épais de 1,5 à 4 m;

— de vases gris-bleu, épaisses de 1 à 2,40 m, correspondant vraisemblablement aux vases supérieures (d'eau douce) du sondage 2-4;

— de sables argileux, épais de 0,30 m, passant latéralement à de la tourbe, épaisse de 1,40 m sur la rive nord-est de la Boulogne (entre — 3,60 et — 5 m NGF);

— des graviers fluviaux d'origine périglaciaire, épais de plusieurs mètres

Des tourbes sont signalées aussi dans la vallée du Redour (le Marais Gâté).

## PHÉNOMÈNES GÉOLOGIQUES

### *REMARQUES SUR LES COMPLEXES BASIQUES ET ULTRA-BASIQUES DE LA BASSE LOIRE ET DE LA RÉGION DE SAINT-PHILBERT-DE-GRAND-LIEU*

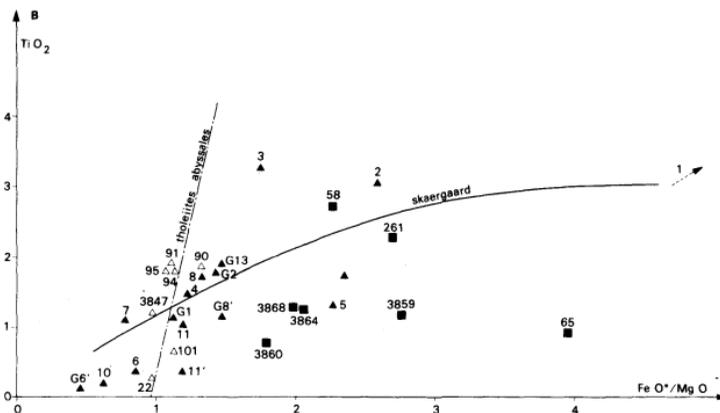
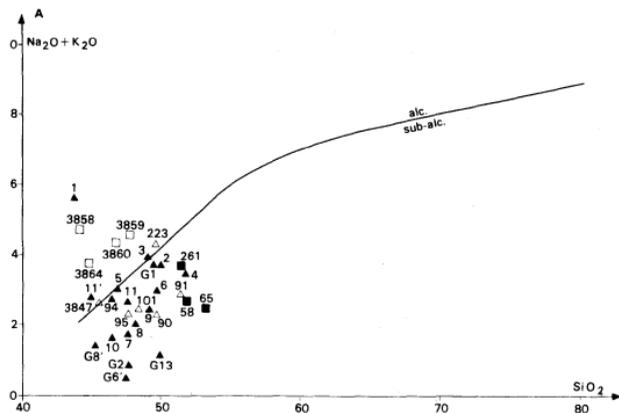
Ces formations, parfois associées à des faciès leptynitiques variés, constituent des séries distinctes, tant au point de vue de leur origine que de leur évolution métamorphique et structurale.

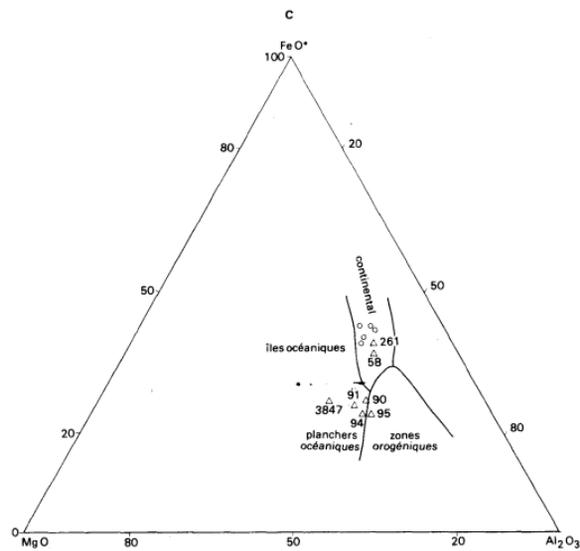
**Complexe leptyno-amphibolique de Paimboeuf** (feuille Paimboeuf à 1/50 000). Il comprend une association de metabasites, en lentilles d'épaisseur déca- à hectométrique, et de leptynites litées, incluses dans des paragneiss métatectiques acides. Les amphibolites sont, soit massives et finement grenues, avec hornblende verte, andésine, pyrite et grains millimétriques de feldspath, soit litées, rubanées ou feuilletées. Les leptynites intercalées ont une structure finement granoblastique, avec quartz, feldspath potassique rare, oligoclase et granules dispersés d'ilménite, de magnétite, de sphère; la biotite est rare, la pyrite abondante. Le rubanement est millimétrique à centimétrique et dû à l'existence de lits plus ou moins chargés en hornblende verte, en épidote ou en ilménite. En raison de la disposition stratoïde des metabasites et des leptynites (massives ou litées), de leur alternance maintes fois répétée, ainsi que de leur fin litage et de leur rubanement, ce complexe peut être interprété comme un ensemble volcano-sédimentaire acide-basique. Les paragenèses actuellement observées dans les roches basiques correspondent à un métamorphisme catazonal de type barrowien (faciès amphibolite à hornblende). Ultérieurement, la mobilisation anatectique a développé des veines leucocrates, millimétriques à centimétriques, et des noyaux pegmatoïdes à gros grain. Le faciès est souvent artéritique (la Glétais, moulin Perret).

Les metabasites de cet ensemble ont fait l'objet d'analyses chimiques à l'extrémité sud-est de ce complexe (amphibolites de Bouguenais, analyses 3858 - 3859 - 3860 - 3864). Elles manifestent une nette tendance alcaline (diagramme A :  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ) et même calco-alcaline (diagramme B :  $\text{TiO}_2/\text{FeO}^*/\text{MgO}$ ) (fig. 5). La mise en place de ce complexe pourrait résulter d'une distension précoce de la croûte, dans une région en cours de surrection : associées à un volcanisme fissural, des coulées basaltiques se seraient répandues, avec des intercalations de rhyolites (exemple de l'Áfar), tandis que des produits détritiques s'accumulaient au voisinage (gneiss acides encaissants).

**Complexe basique du Greix et de Mindin et son encaissant gneissique.** Des lentilles de gneiss à pyroxène, épaisses de quelques mètres à quelques décamètres, sont intercalées dans les gneiss métatectiques au Greix, à Roiloup et à Mindin (A. Lacroix, 1889). Il convient de rapprocher ces formations du complexe d'amphibolites, d'amphibolo-pyroxénites et de gneiss

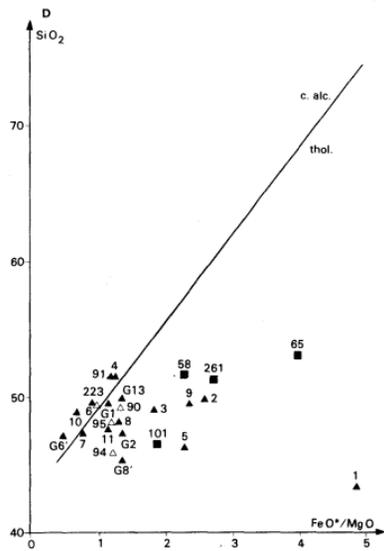
Fig. 5 - Diagrammes géochimiques des metabasites de la région de St-Philbert-de-Grand-Lieu et de Bouguenais  
(cf. tableau des analyses chimiques)





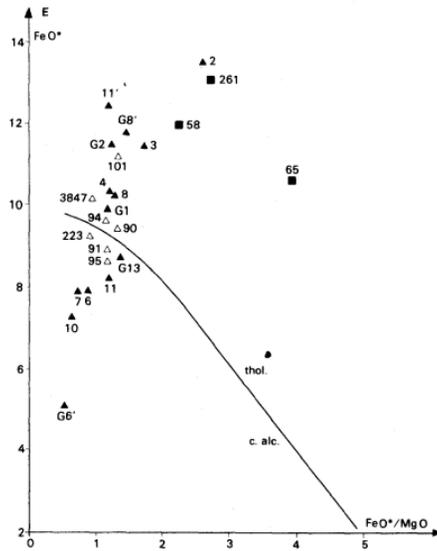
▲ Eclogites

■ Amphibolites à grenats



□ Amphibolites banales

△ Prasinites schisteuses



○ Métabasites de l'anticlinal de Mervent

à dipyre de Saint-Nazaire, lui-même associé à des bancs de cipolin, qui confirment l'origine sédimentaire des gneiss à pyroxène. A Mindin comme à Saint-Nazaire, les niveaux basiques sont intercalés dans des gneiss khondalito-kinzigitiques, à reliques de métamorphisme de haute pression (*cf.* C. Thépault, 1973, et D. Bideau, 1974). Une anatexie régionale, puis une rétro-morphose dans le faciès amphibolite, ont affecté cet ensemble. Situés dans un encaissant gneissique identique, les gneiss à pyroxène de Roiloup et les formations homologues de Saint-Nazaire pourraient représenter un écho sédimentaire du volcanisme des environs de Paimboeuf. La distension évoquée précédemment aurait favorisé un début d'océanisation : des dépôts littoraux ou lagunaires seraient à l'origine des cipolins et des gneiss à wernérite rubanés de Roiloup, riches en calcium, en magnésium et en fer (analyses 48 et 49). Les petits massifs de serpentinites, qui trouent les gneiss encaissants au Nord de Donges, sont des indices d'un amincissement important de la croûte et de la remontée du manteau.

**Complexe acide-basique de Port-Saint-Père, de Bouaye et de Pont-Saint-Martin** ( $\xi^2$ ,  $\delta^{11}$ ,  $\sigma$ ). Il comporte cinq termes principaux : des prasinites renfermant des lentilles de serpentinites, associées à des gneiss à albite porphyroblastique, à des micaschistes à grenat et localement à des micaschistes à chloritoïde. Ces termes sont associés :

- au Sud de Saint-Jean-de-Boiseau (feuille Nantes à 1/50 000, à la Ville-au-Vay, etc.);
- de Sainte-Pazanne à Port-Saint-Père, Bouaye, Brains, la Ville-au-Denis, Pont-Saint-Martin, Montbert;
- dans la « nappe de Champtoceaux » (groupe de Drain-la-Boissière et micaschistes du Havre). Cet ensemble a subi un métamorphisme mésozonal de forte pression (reliques de disthène) avant d'être rétro-morphosé à la limite de l'épizone (paragenèses à actinote, chlorite, etc.).

Le chimisme des prasinites a été étudié au Nord de Bouaye (n° 90, 91, 94, 95, 3847, 101, 223). Le diagramme A :  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  montre que ces roches ont une tendance nettement subalcaline et tholéiitique; dans le diagramme B :  $\text{TiO}_2/\text{FeO}^*/\text{MgO}$ , elles se rattachent à la lignée des tholéiites abyssales, par leur forte teneur en titane, le faible rapport  $\text{FeO}^*/\text{MgO}$  et leurs très faibles teneurs en  $\text{Na}_2\text{O}$  et  $\text{K}_2\text{O}$ . Le caractère de tholéiites abyssales apparaît aussi sur le diagramme E :  $\text{FeO}^*/\text{FeO}^*/\text{MgO}$  et sur le diagramme D :  $\text{SiO}_2/\text{FeO}/\text{MgO}$ . Si une comparaison est valable entre des roches qui ont subi un métamorphisme mésozonal et des laves tertiaires non métamorphiques, on peut voir que les prasinites sont situées à la limite des tholéiites de planchers océaniques et de celles des zones orogéniques.

Les caractères chimiques de ces roches, ainsi que leur association à d'importantes intrusions de serpentinites (la Ville-au-Vay, Saint-Mars-de-Coutais, le Landais, Montbert), et la grande étendue qu'elles occupent à l'Ouest, au Nord et à l'Est du lac (sous la couverture pliocène), permettent de rattacher la formation de cet ensemble à un processus d'océanisation limitée, avec formation d'un bassin marginal. Dans le même milieu, des émissions de roches acides auraient donné naissance aux matériaux tuffacés, ultérieurement transformés en gneiss albitiques. Toutefois, l'anomalie gravimétrique positive de cet ensemble n'est pas très forte (+ 5 à + 7 à Sainte-Pazanne, Bouaye, Pont-Saint-Martin, Montbert), ce qui laisse supposer que la masse des roches basiques ainsi accumulées n'est pas très considérable.

**Complexe des gneiss de Saint-Philbert-de-Grand-Lieu** ( $\zeta^3$ ,  $\delta^{11}$ ,  $\psi$ ). Au Sud-Est des ensembles précédents, s'étend la longue bande des para- et des

orthogneiss de Saint-Philbert, localement anatectiques, formant un encaissant très différent de celui des metabasites ( $\xi^2$ ,  $\delta^{11}$ ). De nombreuses lentilles basiques y sont intercalées : écoligites, amphibolites à grenats, amphibolites banales. Le processus de mise en place des lentilles écoligites n'est pas encore bien élucidé (intrusions ? écaillés tectoniques ?) et leur âge est incertain. Elles ont subi un métamorphisme écoligite de très haute pression, avant d'être rétro-morphosées dans le faciès amphibolite.

Par leur chimisme, les écoligites rétro-morphosées en amphibolites à grenats (n° 58, 65, 261) montrent une tendance subalcaline (diagramme A :  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ). Leur nature tholéiitique est caractéristique, aussi bien dans le diagramme B :  $\text{TiO}_2/\text{FeO}^*/\text{MgO}$  que dans le diagramme D :  $\text{SiO}_2/\text{FeO}^*/\text{Mg}$ . Les écoligites se classent parmi les tholéiites abyssales (n° 6, 7, 8, 10, G1, G2, G6, G8, G13).

Le long du horst de Saint-Philbert, l'anomalie gravimétrique croît du Nord-Ouest au Sud-Est, de + 15 à + 24 milligals; elle est supérieure à + 20 entre la Limouzinière et Saint-Philbert-de-Bouaine et atteint son maximum à 3 km au Sud-Est de Saint-Colomban : des masses basiques importantes, sans doute en relation avec les lentilles écoligites, semblent exister en profondeur.

**Complexe des metabasites de l'anticlinal de Mervent.** Récemment étudiées par R. Wyns (1981), elles se rattachent aussi à la lignée tholéiitique. Dans le diagramme triangulaire C :  $\text{FeO}^*/\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ , les points correspondant à 5 des échantillons (dont la teneur en silice est comprise entre 51 et 56 %) tombent dans le champ du volcanisme tholéiitique continental (sous réserve d'une comparaison valable entre ces formations métamorphiques et des épanchements récents). Comme les ensembles précédents, ces épanchements sont les signes de phénomènes importants de distension de la croûte.

L'anomalie gravimétrique de la lentille de Chantonay est de + 10 à + 15 milligals, ce qui ne laisse pas présumer de l'existence d'une masse lourde très importante, en profondeur.

En conclusion, dans l'hypothèse où les metabasites de Paimboeuf, de Bouaye et de Chantonay auraient formé une série continue, il serait possible d'y discerner une évolution géochimique débutant par des émissions fissurales calco-alcalines (série de Paimboeuf), suivies par des émissions de type tholéiitique, avec amincissement de la croûte et océanisation dans un bassin marginal (Brains, Bouaye). Au Sud-Est, le magmatisme tholéiitique serait resté associé à un proto-rift continental. La situation exacte des lentilles écoligites dans cet ensemble reste à élucider.

#### *HISTOIRE GÉOLOGIQUE DE LA CUVETTE DE GRAND-LIEU ET DATE DE SON EFFONDREMENT*

**Dès le Crétacé supérieur**, et sans doute bien avant, la basse Loire est une région de basse altitude et de relief peu accentué (moins de 60 m), malgré la densité assez forte du réseau hydrographique, creusé dans le socle cristallin. Située à une basse latitude (environ 37° lat. N au début du Tertiaire), elle a été soumise durant de longues périodes à des conditions climatiques tropicales à subtropicales, favorisant l'altération superficielle. Au Turonien ou au Sénonien, la mer pénètre par la Loire dans la vallée de l'Ognon, dans laquelle subsistent les dépôts du château de Montbert.

**Eocène.** Un jalon important est fourni par l'existence, autour de la dépression de Grand-Lieu, de nombreux dépôts d'argile noire du début de l'Eocène

(Yprésien), les uns continentaux, les autres de faciès laguno-marins, situés à des altitudes très proches les unes des autres.

● **Dépôts continentaux.** Dans la vallée du Redour, ils sont situés entre 11 et 15 m et sur les bordures est et sud du lac entre 1 et 3 m (cf. tableau 1). Les quatre gisements continentaux situés un peu plus à l'Ouest (feuilles Machecoul et Paimboeuf) se trouvent à des altitudes comparables : 15 m au moulin des Penauds, 11-12 m à la Noulterrie, 13 m à la Joussetière, 5 à 7 m à la Mortonnerie (en Sainte-Pazanne). Seuls les gisements de Sainte-Rose et du Marais-Michaud ne sont pas situés dans les vallées, mais *sur les bords actuels du lac de Grand-Lieu* : il est clair qu'une dépression *marécageuse, sans doute peu profonde, existait déjà sur l'emplacement du lac dès l'Ilerdien*. Aucun sondage n'a jusqu'ici atteint le socle, sous le lac, au fond duquel gisent, peut-être, des témoins de cette époque.

● **Dépôts laguno-marins.** Dans une zone d'altitude très légèrement inférieure, la transgression marine ilerdienne provoqua un engorgement des basses vallées où une sédimentation de type lagunaire se produisit : c'est alors que se déposèrent les argiles noires de la baie de Bourgneuf (la Sennetière), de Noirmoutier, du goulet de Fromentine et du Loreau sur la côte vendéenne. A l'entrée du lac, les vallées du Tenu et de l'Ognon faisaient partie du même ensemble marécageux littoral, occupé par une mangrove. L'altitude de tous les gisements est remarquablement bien groupée : 2 à 3 m à l'Halbrandière, 3 à 5 m au Sud de Saint-Mars-de-Coutais, — 2 à + 5 m à Noirmoutier, 2 m à la Sennetière, 0 à — 1 m au Loreau. Seuls les gisements du détroit de Fromentine font exception (— 20 à — 25 m). La limite devait être très indécise entre le domaine d'eau douce et le domaine lagunaire.

**Au Lutétien supérieur,** la transgression du Biarritzien provoqua l'inondation de toute la région représentée sur la feuille, au moins jusqu'à l'altitude de 40 m : la mer remonta les vallées comme celle de l'Ognon, occupa l'emplacement du lac où elle accumula plus de 10 m de dépôts fossilifères (sondages 2-1 à 2-8) et recouvrit le horst de Saint-Philbert (35 m au moulin de la Nation). Contrairement aux gisements ilerdiens, les dépôts biarritziens sont situés à des altitudes variées : leur base se trouve vers 30 m au moulin de la Nation, à 2 m à Saint-Aignan, au-dessous de — 19 m dans le sondage 2-5 et de — 25 m dans le sondage 2-1. Cependant, les faciès et les faunes de tout cet ensemble indiquent un milieu littoral tout à fait comparable. *L'effondrement du fond du lac apparaît donc comme post-biarritzien*. Il est moins important dans la partie nord-est que dans la partie sud-ouest où il atteint une cinquantaine de mètres au moins (de part et d'autre d'une ligne le Surchaud—l'Aubrais, sur le bord nord du Sillon houiller).

**Au Redonien,** et sans doute auparavant au Miocène, la dépression du lac est à nouveau envahie par la mer; puis les cailloutis p2 recouvrirent tout le relief, culminant au Sud-Est de la feuille à + 42 m. A l'Est du lac, la nappe s'étend sur un plan incliné d'Est en Ouest, qui se trouve vers 30 m à l'Est et plonge sous le lac jusqu'à — 6 m (sondage 2-6). Au Nord du lac, on observe un autre panneau incliné, cette fois du Nord au Sud (de 30 m à 0 m). Si la cuvette avait eu la forme et la profondeur actuelles, les dépôts pliocènes devraient avoir eu une puissance plus grande vers le fond de la dépression que sur ses bordures; or il n'en est rien, semble-t-il. L'épaisseur moyenne (2 à 8 m) est très constante, par exemple entre Geneston et le lac et entre les Bauches-du-Désert et la bordure nord de celui-ci. *Il semble donc bien que ces mouvements de*

*bascule soient post-pliocènes*; ils ont pu être accompagnés par un effondrement accru de la partie centrale de la dépression lacustre. La faille du Sillon de Bretagne—forêt de Touffou a peut-être rejoué à l'extrême fin du Pliocène ou au début du Quaternaire, par compensation isostatique.

## ARCHÉOLOGIQUE PRÉHISTORIQUE

Dans les graviers de terrasse, remaniant le Pliocène, sur la rive droite de l'Ognon, un peu à l'aval de Montbert, au lieu-dit l'Ouchette, on a récolté en place quelques outils *acheuléens* (conservés au musée Dobrée de Nantes), d'un âge rissien possible.

Sur la rive gauche, la plate-forme qui conserve des restes de grès lustrés est jonchée de débris de taille et d'instruments de grès, depuis les Chaises au Nord jusqu'à la Bauche-Argentière au Sud. Cette industrie peut être attribuée au *Moustérien* de tradition acheuléenne (Wurmien). Les sables argileux, à grains de sable éolisés, qui contiennent l'industrie, généralement épais de 50 cm, s'épaississent parfois en des poches beaucoup plus profondes, comme dans la tranchée de l'ancienne voie de chemin de fer, au Pas Chalène, au Nord de Montbert, et passent sous les alluvions holocènes de l'Ognon. On a signalé du Moustérien au Gros Caillou, commune du Bignon.

D'âge beaucoup plus récent (*Mésolithique ou même Néolithique*) existe un site à microlithes de quartzite et parfois de silex (Pont Bonnet). De nombreuses trouvailles néolithiques isolées ont été faites, sans découverte de grandes stations.

*Mégalithes*. Il y a deux menhirs sur la commune des Sorinières, l'un à la Haute Lande, l'autre aux Nallières. A Pont-Saint-Martin, deux menhirs existent au bord de l'Ognon; d'autres ont été détruits à Vertou, Saint-Aignan, Montbert. Un dolmen subsiste au-dessus de Port-Faissant (en Sainte-Pazanne); un autre a été détruit aux Leiches-de-Vertou.

*Age du Bronze*. Le lac de Grand-Lieu a fourni deux haches de bronze, l'une à talon, l'autre à ailerons médians (en Saint-Philbert). Sur cette même commune, ont été trouvés 24 haches à talon et un bracelet de type Bignan. A Port-Saint-Père, le plus souvent dans les dragages de l'Acheneau, 100 haches à talon, 6 à ailerons, 12 à douille, 3 pointes de lance, un fragment d'épée langue de carpe. On a fondu le bronze sur place comme en témoignent les deux moules de haches à ailerons (Bronze final) trouvés à Saint-Aignan et à Port-Saint-Père.

Des vestiges de *palafittes* semblent exister, car des pieux énormes ont été retirés du fond du lac, de la Boulogne et de la vallée du Redour (le Marais Gâté).

## RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

### HYDROGÉOLOGIE

Du point de vue des eaux souterraines, le territoire couvert par la feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu appartient au domaine du Socle armoricain dont les formations sont généralement peu perméables. Des ressources peuvent cependant y exister, mais elles sont très inégalement réparties.

Les formations tertiaires enchâssées dans le socle et conservées à la faveur de

topographies basses : fossés d'effondrement ou réseau hydrographique ancien, constituent, par contre, sous certaines conditions, d'excellents réservoirs.

### **Socle armoricain**

Pour peu que les roches du socle soient affectées de discontinuités (cassures, filons, altération différentielle), elles peuvent être localement aquifères et permettre de répondre de façon économique à des besoins limités (petites collectivités, entreprises agricoles ou industrielles, particuliers), si le débit recherché ne dépasse pas quelques  $m^3$ , ou quelques dizaines de  $m^3/h$ .

● **Conditions de gisement.** L'eau est contenue dans les horizons supérieurs altérés, dans la matrice rocheuse lorsque cette dernière est poreuse et dans les formations d'âge post-hercynien, perméables (placages de sables pliocènes notamment). Mais elle ne peut circuler aisément que si la roche est fissurée; les résultats obtenus (débits d'exploitation et pérennité de la ressource) sont liés à la fissuration (densité et ouverture) qui joue le rôle de drain, à la fois pour l'encaissant et pour les horizons supérieurs (roche altérée et recouvrement) : ces derniers sont moins transmissifs mais constituent l'essentiel du réservoir.

Dans le socle armoricain, les recherches doivent donc s'orienter vers les zones de cassures ou de contact entre roches différentes. La profondeur des forages est, en général, comprise entre 40 et 80 mètres.

● **Qualité de l'eau.** L'eau souterraine prélevée dans le socle est généralement de qualité satisfaisante, faiblement minéralisée et agressive. Elle contient cependant fréquemment du fer en excès. Sauf exception, les températures observées s'échelonnent, en toute saison, aux alentours de 11 °C, 12 °C.

● **Résultats répertoriés sur la feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu.** Peu de résultats sont connus sur les forages réalisés dans le socle :

— le massif granitique, prolongement du Sillon de Bretagne, au Nord-Est de la feuille, a donné des résultats hétérogènes, allant de 1 à 27  $m^3/h$ , pour des profondeurs s'étageant de 40 à 100 mètres. Les forages ainsi réalisés sont utilisés à des fins agricoles (irrigation);

— il n'existe pas d'indications précises sur les autres formations : roches métamorphiques (micaschistes, gneiss...) ou d'âge primaire (Cambrien et Houiller).

### **Formations d'âge tertiaire**

● **Conditions de gisement.** Dans tout le Massif armoricain, les bassins tertiaires sont très recherchés pour leurs qualités aquifères, dans la mesure où ils possèdent deux caractéristiques favorables :

— un faciès lithologique propice à l'emmagasinement des eaux : sables (le moins argileux possible), calcaires fissurés sableux ou très fossilifères (faluns);

— des conditions de dépôt assurant une certaine épaisseur et le drainage des terrains encaissants : fossés d'effondrement, dépressions par érosion de la surface du socle, anciennes vallées, etc.

On retrouve partiellement, mais à une échelle différente, le schéma hydrogéologique indiqué pour les roches indurées du Massif armoricain. Les bassins tertiaires jouent en eux-mêmes un rôle de réservoir et un rôle de drain vis-à-vis des terrains encaissants.

● **Qualité de l'eau.** L'eau est en général d'une qualité excellente. Très douce et légèrement acide dans les sables, elle est assez dure et de pH supérieur à 7

dans les terrains calcaires. Il est rare qu'elle doive subir une correction chimique (à l'exception d'une déferrisation pour certains bassins sableux) avant distribution. Il est toutefois d'usage de neutraliser les eaux des sables par filtration sur carbonate.

● **Perspectives de ressources sur la feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu.** La feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu est très riche en affleurements d'âge tertiaire, disposés dans la grande dépression du lac de Grand-Lieu, ou flanquant ses abords.

Tous ne répondent pas aux critères hydrogéologiques favorables énoncés plus haut : c'est le cas notamment de la plus grande partie des importants vestiges du Pliocène, soit qu'ils ne constituent que des placages, soit que l'argile y prédomine; ces dépôts peuvent cependant masquer de véritables « Bassins tertiaires » (certains ont été découverts tout récemment) dont le plus intéressant est situé sous le lac de Grand-Lieu.

— *Secteur du lac de Grand-Lieu.* Cette vaste zone effondrée, selon un losange de 9 km sur 7 km environ, est alimentée par l'Ognon et la Boulogne tandis qu'une troisième rivière, l'Acheneau, permet une communication avec la Loire.

Des prospections par sondages ont montré que, sous la couverture récente, des sédiments meubles d'âge tertiaire remplissaient ce graben sur une épaisseur d'au moins 20 mètres (sables, graviers, calcaires et grès) sans que le socle encaissant ait été atteint (cf. tableau des sondages 508-2-1 à 8).

L'on est donc en présence d'un réservoir *a priori* intéressant d'autant plus qu'il n'est pas très éloigné de Nantes, ni des côtes atlantiques où les besoins en eau se font vivement sentir en période estivale, mais il conviendrait, avant tout projet d'utilisation, d'en préciser la géométrie. Il est fréquent, en effet, que ce type de gisement soit de structure complexe avec des cloisonnements et des panneaux « en touches de piano » (S. Durand, 1960) tel celui de Cheméré (feuille voisine Machecoul), ce qui peut en diminuer l'intérêt. La nature des relations hydrauliques entre le réservoir sédimentaire et le lac proprement dit serait également à déterminer.

— *Autres bassins reconnus* Quelques forages ont rencontré sur plus de 10 m et parfois 20 m des sédiments tertiaires avec, pour certains d'entre eux, des épaisseurs non négligeables de sables. Tous sont situés à proximité des grandes cassures :

— zone de Montbert (cf. tableau des sondages 508 - 8 - 15 et 17) : exemple : forage 508-8-15 :

— 0 à 11 m : argile éocène;

— 11 à 22 m : sable et galets lutétiens, socle non atteint à 22 mètres;

— au pied de la grande faille sud du lac de Grand-Lieu : exemple : 508 - 6 - 14 : 19 m de Pliocène dont 12 m de sables.

Ils attestent l'existence possible de réservoirs tertiaires encore non découverts et qu'il faut rechercher, sous le recouvrement récent ou pliocène, près des alignements tectoniques. On ne peut préjuger de l'importance des bassins déjà reconnus qui n'ont fait l'objet d'aucune étude.

#### HYDROLOGIE FLUVIALE

Deux des principaux cours d'eau, l'Ognon et la Boulogne, étaient des affluents de la Loire, avant l'effondrement principal de la cuvette de Grand-Lieu vers laquelle ils convergent. L'Acheneau peut être considéré comme la basse vallée de la Boulogne.

## Débit des cours d'eau alimentant le lac de Grand-Lieu

- **L'Ognon** (station de jaugeage de Viais). Son bassin versant est de 147 km<sup>2</sup>.

En période de crue, le débit maximal instantané est de : 1 an  $\approx$  15 m<sup>3</sup>/s; 2 ans  $\approx$  21 m<sup>3</sup>/s; 5 ans  $\approx$  27 m<sup>3</sup>/s; 10 ans  $\approx$  31 m<sup>3</sup>/s. Un débit exceptionnel de pointe de crue de 39 m<sup>3</sup>/s a été relevé le 24 janvier 1978.

Le débit moyen journalier de crue est de : 1 an  $\approx$  15 m<sup>3</sup>/s; 2 ans  $\approx$  18 m<sup>3</sup>/s; 5 ans  $\approx$  22 m<sup>3</sup>/s; 10 ans  $\approx$  27 m<sup>3</sup>/s. Les périodes de hautes eaux se situent entre novembre et mai.

L'étiage se situe de juin à fin octobre, le maximum se trouvant fin septembre et octobre. Chaque année, il est noté des périodes de plusieurs jours, parfois de plusieurs mois, où le débit est nul. En 1976, le débit a été nul du 5 juin au 17 octobre.

- **La Boulogne et la Logne**. Leur bassin versant est de 462 km<sup>2</sup>.

En période de crue, le débit maximal instantané est de : 1 an  $\approx$  38 m<sup>3</sup>/s; 2 ans  $\approx$  40 m<sup>3</sup>/s; 5 ans  $\approx$  48 m<sup>3</sup>/s; 10 ans  $\approx$  55 m<sup>3</sup>/s. Le débit moyen journalier de crue est de : 1 an  $\approx$  27 m<sup>3</sup>/s; 2 ans  $\approx$  20 m<sup>3</sup>/s; 5 ans  $\approx$  39 m<sup>3</sup>/s; 10 ans  $\approx$  47 m<sup>3</sup>/s.

Les périodes de hautes eaux et d'étiage sont les mêmes que celles de l'Ognon, avec un minimum de quelques l/s à 0 l/s chaque année.

**Lac de Grand-Lieu.** La superficie de son bassin versant est de près de 1 000 km<sup>2</sup>. En étiage, la cote d'eau du lac descend à 0,60 m NGF; le lac a alors une superficie de 520 ha. En crue, la cote d'eau du lac atteint sensiblement la cote 2 m NGF; la superficie est alors d'environ 5 000 ha.

Le mouvement des eaux, à la sortie du lac dans l'Acheneau, est contrôlé par le vannage de Bouaye. Le règlement actuel du lac stipule que le vannage de Bouaye fixant la cote d'eau dans le lac doit être fermé lorsque la cote d'eau atteint 0,94 m. L'Acheneau communique directement avec la Loire, au double pont-barrage de Buzay. Deux autres écluses contrôlent l'arrivée des eaux par le Migron.

— *Cotes de la Loire à Buzay :*

Cote minimale, correspondant à l'étiage de la Loire et une marée de vive eau : — 2,40 m NGF (= 0,60 cm environ).

Cote maximale, correspondant à une crue de la Loire et à une marée de vive eau : 3,60 m NGF (= 6,60 cm environ).

**Le Tenu.** Sa pente est presque nulle, entre la Pommeraie et son arrivée dans l'Acheneau. Un canal de jonction a été creusé entre le Tenu et le Falleron et une station de pompage a été établie au Nord-Ouest de la Pommeraie, à 1 km au Sud de Saint-Même (3 km au Nord-Est de Machecoul). Des écluses permettent d'inverser temporairement le sens du courant du Tenu et ainsi d'y faire pénétrer les eaux de la Loire au moment de l'étalement de plus haute mer, pour les refouler par le canal de la Pommeraie dans le bassin de Machecoul afin de réalimenter sa nappe, en période de basses eaux.

## SUBSTANCES MINÉRALES

Les granites feuilletés  $\gamma^3\zeta$ , les micaschistes  $\xi^2$ , et les gneiss  $\zeta^3$ , ainsi que les porphyroïdes  $\zeta^3\rho$  et les amphibolites  $\delta^{11}$  ont généralement un débit en dalles ou en plaques ce qui a favorisé leur utilisation, dans le passé, comme pierre à bâtir, à partir de nombreuses petites carrières d'intérêt local : le matériau de construction des maisons reflète souvent la nature des terrains environnants.

Les éclogites  $\psi$  et les amphibolites  $\delta^{11}$  ont été employées comme ballast. Le filon de quartz des Trois Hermines (Q) a été longtemps exploité pour l'empierrement.

Le terrain houiller stéphanien de Saint-Mars-de-Coutais (h3) n'a été exploité que durant de courtes périodes, en raison de sa très faible productivité.

Les sables et les graviers pliocènes (p2), très répandus, sont encore largement utilisés pour l'empierrement et les chaussées.

Les limons superficiels et les terrains argileux d'altération du socle ont permis l'installation de quelques tuileries, aujourd'hui presque toutes abandonnées.

## GÎTES MINÉRAUX

### Amiante

Ce minéral a été signalé au Landais (3-4001), 3 km au Sud-Est de Pont-Saint-Martin et à Passais (2-4001), près de la Chevrolière, dans des bandes de serpentinites orientées NW—SE (Dubuisson, 1830; Ch. Baret, 1898).

### Kaolin (kat)

A 1 km au Nord-Est du Bignon (4-4001), le kaolin a été décelé sur une superficie de 50 ha environ. On ignore les possibilités d'extension de la zone kaolinisée. Le gisement est bordé au Nord-Est par le Sillon de Bretagne, zone faillée avec important filon de quartz.

### Charbon (cha)

Le terrain houiller traverse le territoire de la feuille Saint-Philbert-de-Grand-Lieu, du Sud-Est au Nord-Ouest. Il affleure sur la rive ouest du lac (bassin de Grand-Lieu) notamment à l'Effeterie (Saint-Mars-de-Coutais). Il apparaît également au Nord et à l'Est de Saint-Philbert-de-Bouaine (bassin de Vieille-Vigne) et se prolonge dans le cadre des feuilles voisines jusqu'au département des Deux-Sèvres (bassins de Chantonay et de Vouvant).

A l'Effeterie, plusieurs recherches pour charbon furent effectuées, principalement en 1917 : puits de 40 m et galeries en direction de 70 mètres. 2 100 tonnes de combustible furent extraites.

Dans le bassin de Vieille-Vigne, les principales recherches se situent sur le territoire de la feuille voisine, à l'Ecotais et à Malabrit où une veine d'antracite a été suivie sur 50 m à 20 et 40 m de profondeur. Au Nord et à l'Est de Saint-Philbert-de-Bouaine, des recherches peu importantes (puits d'une dizaine de mètres) à la Sécherie et au Buisson ont permis de repérer quelques veines d'antracite sans extension, ne dépassant pas 0,5 m de puissance.

### Chalcopyrite

Des placages de chalcopyrite dans une brèche pyriteuse ont été observés dans le puits pour charbon de l'Effeterie (1-4001), à 17-18 m de profondeur.

## DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

### SITES CLASSIQUES ET ITINÉRAIRES

On trouvera des renseignements géologiques complémentaires et en particulier des itinéraires intéressants la région couverte par cette feuille dans le *Guide géologique régional* : **Poitou, Vendée, Charentes**, par J. Gabilly, 1978, Masson, Paris.

COUPES RÉSUMÉES DE QUELQUES SONDAGES

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z arrondi au m	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-1-29	<b>St-Mars-de-Coutais</b> (Bois Joli) (*)	290,47	241,56	+ 16	12	0-10,20	Sable roux ± grossiers avec galets épais de grès (Sénonien remanié probable) et fossiles silicifiés (id.)	Pliocène	+ 16
	(*) Coupe provisoire établie par J.-M. Viaud (étude détaillée en cours, publication à venir)					10,20-12 à 12 m	Argile grise Refus sur terrain dur	Tertiaire Inconnu (galet ? ou socle ?)	+ 6 + 4
508-1-30	<b>St-Mars-de-Coutais</b> (l'Effeterie)	292,05	241,77	+ 10	20		Schistes, grès et veines de houille	Stéphanien	
508-1-31	<b>St-Mars-de-Coutais</b> (l'Effeterie)	292,00	241,75	+ 10	40		Schistes, grès et veines de houille	Stéphanien	
508-1-32	<b>St-Mars-de-Coutais</b> (l'Effeterie)	292,00	241,75	+ 10	25		Schistes, grès et veines de houille	Stéphanien	
508-1-34	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l'Acheneau (rive W) (sond. 14)	291,42	244,77	+ 1,13	11,40	0-6,50 6,50-9,90	Tourbe Vase gris-bleu	Holocène	+ 1 — 5
						9,90-10,38 10,38-11,40	Sables et graviers Schistes arkosiques	Würm Houiller ?	— 9 — 9

Puits miniers  
de l'Effeterie

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-1-35	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive W) (sond. 16)	291,47	244,80	+ 1,85	17,50	0-7,50	Tourbe	Holocène	+ 2
						7,50-14,70	Vase gris-bleu		- 5
508-1-36	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. 17)	291,50	244,86	+ 1,30	17	14,70-17,40	Sables et cailloutis	Wurm Houiller ?	- 13
						17,40-17,50	Schistes argileux		- 15
508-1-38	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 1)	291,35	244,85	+ 1,60	16,70	0-3,60	Limons vaseux	Holocène	+ 1
						3,60-7,50	Tourbe		- 2
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	7,50-16,10	Vase gris-bleu	Houiller ?	- 5
						16,10-17	Schistes argileux		- 14
508-1-38	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 1)	291,35	244,85	+ 1,60	16,70	0-1	Limons argileux	Holocène	+ 1,60
						1-6	Vase tourbeuse noire		+ 1
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	6-9	Tourbe	Holocène	- 4
						9-15	Argile plastique verte		- 7
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	15-16	Sable argileux et graviers	Wurm	- 13
						16-16,70	Micaschistes		- 14
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	0-0,30	Limons argileux	Holocène	+ 1
						0,30-1,30	Vase noire		+ 1
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	1,30-7,10	Tourbe à débris de bois	Holocène	0
						7,10-15,10	Vase argileuse verte		- 6
508-1-39	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l' Acheneau (rive E) (sond. C.P. 2)	291,43	244,92	+ 1,30	17,30	15,10-16,40	Sable argileux et graviers	Wurm	- 14
						16,40-17,30	Micaschistes		- 15

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-1-40	<b>Port-Saint-Père</b> Vallée de l'Acheneau (rive E) (sond. C.P. 11)	291,42	244,85	+ 3,50	17,80	0-4,80	Remblai	Holocène	— 1
						4,80-8,40	Vase tourbeuse noire		— 5
						8,40-8,50	Passage de la vase tourbeuse à la tourbe		— 5
						8,50-9,80	Tourbe riche en morceaux de bois		— 7
						9,80-9,97 9,97-10,15	Tourbe sans bois Tourbe riche en bois		— 7
10,15-17,80	Vase gris-bleu	(base : 584 ± 90 ans BP) (base : 634 ± 145 ans BP) Socle non atteint à — 14,29	— 7 — 7 — 7						
508-2-1	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu (1948)	295,7*	238,0*	0	24	0 à 1,5 1,5 à 5,2 5,2 à 24	Vase Sables et graviers Sable fin, vert jusqu'à 18 m puis gris	Flandrien Pliocène Biarritzien	0 — 1 — 5 Socle non atteint à — 24
508-2-2	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu	296,3*	239,5*	0	18	0 à 7,8  7,8 à 18,0	Alternance de sables et de graviers Sable fin jaune puis sable gris coquillier	Pliocène  Biarritzien	0  — 5 Socle non atteint à — 18

\* Situation approximative.

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-2-5	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu	292,9*	241,6*	0	18	0 à 7,9 7,9 à 11,9  11,9 à 18,40	Vase « Pierre à mollons » = sable fin quartzeux jaunâtre Sable quartzeux calcaire, fossilifère (cf. P. Marie, 1949) ( <i>Halkyardia minima</i> , etc.)	Flandrien Biarrizien  Biarrizien	0 — 7  — 11 Socle non atteint à — 19
508-2-6	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu	293,4*	241,5*	0	18,6	0-7,3 7,3-8,7 8,7-11,6 11,6-18,6	Vase Argile Graviers Sable gris fin puis très fin	Flandrien indéterminé Pliocène Eocène	0 — 7 — 8 — 11 Socle non atteint à — 18
508-2-7	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu	293,8*	241,4*	0	16,3	0-2,7  2,7-4,7 4,7-16,3	Vase; argile au fond Sable gris jaunâtre Sable, jaune, blanc ou gris, grossier à partir de 10,60 m	Flandrien  Pliocène ? Eocène	0  — 2 — 4 Socle non atteint à — 16

\* Situation approximative.

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-2-8	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> Lac de Grand-Lieu	294,3*	241,3*	0	16,5	0-2,2 2,2-5,9	Vase Sables et graviers jaunes parfois argileux	Flandrien Pliocène	0 — 2
						5,9-7,0	Sable calcaire puis blocs calcaires	Eocène	
						7,0-16,5	Grès calcaires à Foraminifères (Nummulites, Orbitolites, etc.), étude P. Marie de 7 à 11 m	Biarritzien	Socle non atteint à — 16
508-2-16	<b>St-Aignan- de-Grand-Lieu</b> Pierre-Aiguë (1) (1) J.-M. Viaud — <i>Bull. Soc. Sc.</i> <i>Nat. O. Fr.</i> , t. LXXVI, 1978, p. 190	297,15	243,38	+ 1		0-0,3 0,3-1,1	Terre végétale Sable argileux et galets de quartz	Redonien	+ 1
						1,1-2,7	Sable grossier coquillier à Nummulites, Brachiopodes, Madréporaires, etc.	Biarritzien	0
508-5-14	<b>Machecoul</b> (la Pommeraie, station de pompage)	286,95	231,05	+ 5	8,80	0-3,10	Sable et cailloutis de quartz	Pliocène	+ 5
						3,10-3,80	Argile sableuse		+ 2
						3,80-4,90	Argile graveleuse		+ 1
						4,90-7,25	Argile blanche compacte	Altération pré-pliocène	0
						7,25-8,80	Micaschiste altéré	Socle	— 2
						> 8,80	Micaschiste sain		

\* Situation approximative.

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-6-3	<b>St-Philbert- de-Grand-Lieu</b> La Gravouillerie	294,12	232,32	+ 30	12	0-12	Sable	Pliocène	+ 30 Socle non atteint à + 18
508-6-14 *	<b>La Limouzinière</b> Les Étangs  * Coupe sommaire relevée par J.-M. Viaud (Publication de la coupe détaillée à venir)	297,04	230,20	+ 31	20	0-1 1-12  12-15 15-18,70  18,70-20	T.V. et sable * Sable moyen, vert ou blanc avec rares intercalations d'argile beige Argile grise sableuse Argile grise compacte fossilifère Micaschistes altérés	Pliocène  Pliocène (Redonien)	+ 30  + 19 + 16  + 12
508-8-15	<b>Montbert*</b> La Jontèle  * Coupe relevée par le propriétaire et interprétée au vu d'échantillons par J.-M. Viaud, 1980	309,69	235,27	+ 18	22	0-3 3-11  11-15 15-22	Argile sableuse Argile noire organogène Sable fin Sable grossier avec quelques galets de grès sénoniens remaniés	? Eocène possible  id. Lutétien probable	+ 18 + 15  + 7 + 3 Socle encaissant non atteint à — 4

N° archivage SGN	Commune Désignation	x	y	z	Prof. en m	Coupe géologique sommaire		Stratigraphie	Cote toit NGF arrondie au m
						Profondeurs en m	Lithologie		
508-8-16	<b>Montbert*</b> Bellecour  * Coupe indicative d'après le propriétaire. Interprétation provisoire : O. Limasset et J.-M. Viaud.	309,22	235,23	+ 31	+ 34	0-7 7-15 15-34	Argile Sable argileux « Silex » (probablement galets de grès comme au 508-8-15)	Tertiaire possible Lutétien possible Lutétien possible (cf. 508-8-15)	+ 31 + 24 + 16 Socle encaissant non atteint à — 3
508-8-17	<b>La Planche*</b> La Barre  * Coupe sommaire établie par J.-M. Viaud. Publication à venir	311,81	230,54	+ 23	14	0-1,7 1,7-2,3 2,3-2,5 2,5-8,0  8,0-13,90	T.V. et sable Sable gris argileux Argile noire Sable noir, gris, fin devenant de plus en plus argileux vers le bas Argile parfois graveleuse avec galets de grès sénonien remaniés Socle	Lutétien Lutétien moyen Lutétien  Lutétien  Socle	+ 23 + 21     + 9

BIBLIOGRAPHIE

- BARET Ch. (1898) — Minéralogie de la Loire Inférieure. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest Fr.*, t. 8.
- BIDEAU D. (1974) — Etude pétrographique des migmatites et roches associées de la région de Saint-Nazaire. Evolution métamorphique du substratum de l'estuaire de la Loire. D.E.A., fac. sc., Nantes.
- BITEAU F. (1979) — Morphologie du substratum et remplissage alluvionnaire de la vallée de la Loire, entre Nantes et Saint-Nazaire. D.E.A., fac. sc., Nantes.
- BRIÈRE Y. (1920) — Les écoligites françaises; leur composition minéralogique et chimique; leur origine. *Bull. Soc. fr. Min.*, 43, p. 77-222.
- BUREAU L. et Ed. (1900) — Notice sur la géologie de la Loire Inférieure. T. III, Nantes, p. 99-522.
- COGNÉ J. (1960) — Schistes cristallins et granites en Bretagne méridionale. *Mém. Serv. Carte géol. Fr.*
- DÉPAGNE J. (1975) — Ressources en eau des bassins tertiaires du Massif armoricain. BPL 1975-14 (note présentée aux journées d'hydrogéologie du BRGM - Oct. 1975).
- DUBUISSON (1830) — Catalogue de la collection de minéralogie du département de la Loire-Inférieure. Nantes, 319 p.
- DURAND S. (1960) — Le Tertiaire de Bretagne. Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique. Thèse, Rennes, *Mém. Soc. géol. min. Bret.*, t. XII.
- DURAND S. et OLLIVIER-PIERRE M.-F. (1969) — Observations nouvelles sur la présence du pollen de Palmier *Nypa* dans l'Eocène de l'Ouest de la France et du Sud de l'Angleterre. *Bull. Soc. géol. min. Bret.*, (6), 1, p. 49-57.
- FLAGEOLLET J.-C. (1976) — Formations superficielles et reliefs d'érosion différentielle dans les massifs anciens cristallins: l'exemple du Limousin et de la Vendée du Nord-Ouest. Thèse, université de Paris VII.
- LACROIX A. (1889) — Contribution à l'étude des gneiss à pyroxène et des roches à wernérite. *Bull. Soc. fr. Min.*, 12, p. 83-364.
- LASNIER B., LEYRELOUP A., MARCHAND J. (1973) — Découverte d'un granite « charnockitique » au sein de « gneiss ocellés ». Perspectives nouvelles sur l'origine de certaines leptynites du Massif armoricain méridional (France). *Contr. Min. Petr.*, 41, p. 131-144.
- LIMASSET O. et TALBO H. (1974) — Bassins tertiaires et quaternaires de Loire-Atlantique. Etat des connaissances sur leurs possibilités aquifères. Note interne SGR/BPL 1974.

- MARIE P. (1949) — Rapport sur l'examen micropaléontologique des sondages du lac de Grand-Lieu (Loire-Atlantique), feuille Nantes (117). Archives B.R.G.M., 27.7.1949.
- MOUNÈS J. (1974) — Le Marais breton et ses marges. Etude de géomorphologie et de sédimentologie. Thèse, univ. de Nantes.
- OLLIVIER-PIERRE M.-F. (1980) — Etude palynologique (spores et pollens) de gisements paléogènes du Massif armoricain. Stratigraphie et paléogéographie. *Mém. Soc. géol. min. Bret.*, t. 25.
- OTTMANN F., ALIX Y., LIMASSET O. (1968) — Sur le lit ancien de la Loire, dans son cours inférieur. *Bull. B.R.G.M.*, (2), 1, 2, p. 27-56.
- PÉNEAU J. (1921) — Note préliminaire sur le Carbonifère du lac de Grand-Lieu. *Bull. Soc. géol. min. Bret.*, fasc. sp., p. 246-257.
- PITRE DE LISLE DU DRENEUX (1878) — La Bretagne primitive. Saint-Brieuc.
- PLANCHAIS N. (1967) — Le chêne vert à l'optimum climatique. *Pollen et spores*, IX, 3, p. 505-520.
- TALBO H. (1975) — Alimentation en eau potable du département de Loire-Atlantique. Possibilités offertes par les eaux souterraines en cas d'arrêt temporaire des prélèvements directs ou indirects en Loire. Rapport BRGM 75 SGN 270 BPL.
- TALBO H. et VAUBOURG P. (1977) — Méthodes de recherche d'eau souterraine en milieu fissuré. Etat des connaissances. Rapport BRGM 77 SGN 358 HYD.
- TERS M. (1957) — Limons éoliens en Vendée littorale. *C.R. Acad. Sci.*, 244, p. 3162-3164.
- TERS M. (1961) — La Vendée littorale. Thèse, Oberthur éd., Rennes.
- TERS M. (1973) — Les variations du niveau marin depuis 10 000 ans, le long du littoral atlantique français. 9e congrès INQUA, suppl. *Bull. A.F.E.Q.*, p. 114-135.
- TERS M. (1979) — Les synclinoriums paléozoïques et le Précambrien sur la façade occidentale du Massif vendéen. Stratigraphie et structure. *Bull. B.R.G.M.*, 1, 4, p. 293-301.
- TERS M., PLANCHAIS N. et AZEMA C. (1968) — L'évolution de la basse vallée de la Loire, à l'aval de Nantes, à la fin du Würm et pendant la transgression flandrienne. *Bull. Ass. fr. Et. Quat.*, 3, p. 217-246.
- TERS M., BREBION P., BUGÉ E., CHEVALIER J.-P., LAURIAT A., MARGEREL J.-P. (1970) — Le Redonien de la région de Palluau (Vendée). *Bull. B.R.G.M.*, 1, 2, p. 1-26.
- THÉPAULT C. (1973) — Etude pétrographique des cipolins et roches associées de Penhoët (Saint-Nazaire). D.E.A., fac. sc., Nantes.

- TROMELIN G. de (1875) — Addition relative aux terrains tertiaires et quaternaires. *A.F.A.S.*, Nantes, p. 659-661.
- VELDE B., SABATIER H. (1972) — Eclogites from Northern Vendée, France. *Bull. Soc. fr. Min.*, 95, p. 397-400.
- VIAUD J.-M. (1981) — La faune du gisement lutétien de Pierre-Aiguë en Saint-Aignan-de-Grand-Lieu (Loire Atlantique). Etude paléontologique et paléobiogéographique. *Bull. B.R.G.M.* (à paraître).
- VIDAL Ph. (1976) — L'évolution polyorogénique du Massif armoricain. Apport de la géochronologie et de la géochimie isotopique du strontium. Thèse, Rennes.
- VISSET L. (1973) — Etude palynologique des sondages A1 (Montoir) et CX (Saint-Nazaire Mindin). *C.R. Acad. Sci.*, 277, p. 2469-2472.
- VISSET L. (1979) — Recherches palynologiques sur la végétation pléistocène et holocène de quelques sites du district phytogéographique de Basse-Loire. *Bull. Soc. Sc. nat. Ouest Fr.*, suppl. h.s., 1 vol., Nantes.
- WYNS R. (1981) — Contribution à l'étude du haut-bocage vendéen; le Précambrien et le Paléozoïque dans la région de Chantonay (Vendée). Thèse 3e cycle, univ. Paris VI, Paris.

#### **Carte géologique de la France à 1/80 000**

- Feuille *Nantes* (1926), par L. Bureau et G. Ferronnière.
- Feuille *Nantes-Ile du Pilier* (1968), par M. Ters, F. Verger.
- Feuille *Palluau-Ile d'Yeu*, 2e éd. (1972) par M. Ters, F. Verger, G. Mathieu.

#### **Carte géologique de la France à 1/50 000**

- Feuille *Nantes* (1969), par M. Ters, B. Barthélémy, J. Marchand, R. Richard, G. Weecksteen.
- Feuille *Paimboeuf* (1978), par M. Ters et J. Marchand (Geotechnip).
- Feuille *Machecoul* (1978), par M. Ters, J. Mounès et J. Gouleau.
- Feuille *Ile-de-Noirmoutier—Pointe-de-Saint-Gildas* (1978), par M. Ters, D. Gouleau et J.-R. Vanney.
- Feuille *Saint-Nazaire* (1973), par B. Hassenforder, L. Barbaroux et *al.*

#### **Carte géologique à 1/320 000**

- Feuille *Nantes*, 2e édition (1972) (contours au Sud de la Loire, dessinés par M. Ters).

#### **Carte gravimétrique de la France à 1/320 000**

- Feuille *Nantes* (1963).

#### **Carte des gîtes minéraux de la France à 1/320 000**

- Feuille *Nantes* (1961), coordination par F. Permingeat.

## Carte des gîtes minéraux de la France à 1/500 000

Feuille *Nantes* (1979), coordination par J. Méloux.

### Travaux consultés

C. Audren, A. Autran, J. Bernard-Griffiths, J. Blaise, P. Bellancourt, L. et Ed. Bureau, Charrier-Fillon, J.-J. Châteauneuf, H. Diot, S. Durand, J.-L. Duthou, G. Ferronnière, F.-H. Forestier, B. Hassenforder, M. Gruet, J.-L. Guillot, P. Jégouzo, B. Lasnier, J. Marchand, J.-P. Margerel, P. Marie, J. Mounès, M.-F. Ollivier-Pierre, F. Ottmann, J.-J. Peucat, Pitre de Lisle, N. Planchais, D. Santallier, M. Ters, G. Vasseur, F. Verger, J.-M. Viaud, L. Visset, R. Wyns.

### DOCUMENTS ET COLLECTIONS CONSULTABLES

La Banque des données du sous-sol du B.R.G.M. détient l'inventaire des sondages et autres travaux souterrains exécutés dans le périmètre de la feuille et archive régulièrement les nouveaux travaux. Les documents peuvent être consultés, soit au S.G.R. Pays de la Loire, 10 rue Henri Picherit, 44300 Nantes, soit au B.R.G.M., 191 rue de Vaugirard, 75015 Paris.

### ANALYSES CHIMIQUES

**Amphibolites** : N° 3858, 3859, 3860, 3864 : 500 m au Sud-Est de Bouguenais (Loire Atl.) (analystes : Ricq et Rouy).

**Prasinites** : N° 90, 91, 94, 95 : 2 km au Nord de Brains (an. : Ricq)  
N° 101 : la Jolennerie (anal. : B.R.G.M.)  
N° 223 : les Grandes Rembergères (en St-Mars-de-Coutais) (an. : B.R.G.M.)  
N° 3847 : 0,6 km au Sud de Brains (an. : Rouy).

**Tuf basique** : N° 267 : Valliers (en St-Léger-les-Vignes) (an. : B.R.G.M.).

**Amphibolites à grenats** : N° 58 et 65 : le Brandais, en Saint-Lumine-de-Coutais (an. : B.R.G.M.)  
N° 261 : le Plessis, en Saint-Lumine-de-Coutais (an. : B.R.G.M.).

**Eclogites** : N° 10 : la Compointrie, en Saint-Philbert-de-Grand-Lieu  
N° 11 : Piedpain, en Saint-Philbert-de-Grand-Lieu  
N° 9 : Les Guerches, en Saint-Philbert-de-Bouaine (*in* Brière, 1920)  
N° G1, G2, G6', G8', G13 : les Gerbaudières, en Saint-Philbert-de-Bouaine (*in* Velde et *al.* 1972).  
N° 8 : la Favrie  
N° 6 : Saint-Denis-la-Chevasse (*in* Brière 1920).

**Pyroxénites** : N° 48 : la Grée, entre Saint-Brévin et Corsept  
N° 49 : amphibolo-pyroxénite, Ville-ès-Martin en Saint-Nazaire (an. : Patureau, *in* J. Cogné, 1960).

**Kératophyres** : N° 59, 60 : le Brandais, en Saint-Lumine-de-Coutais (anal. : B.R.G.M.).

**Tufs acides** : N° 149 : Laurière  
N° 174 bis : la Bernerie, en Saint-Mars-de-Coutais (anal. : B.R.G.M.).

## Analyses chimiques (1)

	Amphibolites				Prasinites							Tuf basique	Amphibolites à grenats		
	3 858	3 859	3 860	3 864	90	91	94	95	101	223	3 847	267	58	65	261
SiO <sup>2</sup>	44,14	47,50	46,62	44,64	49,35	51,50	45,90	47,60	48,00	49,30	45,48	53,30	51,70	53,00	51,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,04	12,40	10,51	11,00	16,45	15,20	19,15	18,20	14,90	16,20	15,55	15,80	14,40	15,00	15,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,55	16,83	17,15	18,69	4,95	2,50	3,50	2,75	3,77	6,80	10,13	12,00	4,24	7,20	12,00
FeO					4,90	6,50	6,35	6,15	6,70	3,05		0,93	8,10	3,59	2,23
CaO	10,08	9,63	8,51	10,41	10,60	9,60	10,05	11,00	9,10	5,90	11,08	4,64	9,00	12,40	6,70
MgO	8,40	6,12	9,60	9,36	7,35	8,15	8,70	8,07	9,60	9,90	10,50	2,62	5,30	2,65	4,86
Na <sub>2</sub> O	4,39	4,31	4,10	3,52	2,25	2,60	2,70	2,20	2,35	4,08	3,41	2,68	2,55	2,17	2,81
K <sub>2</sub> O	0,29	0,31	0,30	0,28	0,15	0,10	0,20	0,15	0,37	0,29	0,28	0,30	0,13	0,34	0,87
MnO	0,20	0,15	0,20	0,10	0,25	0,20	0,24	0,25	0,17	0,10	0,10	0,15	0,24	0,23	0,21
TiO <sub>2</sub>	1,23	1,16	0,78	1,20	1,85	1,90	1,77	1,80	0,77	0,31	1,20	1,68	2,64	0,88	2,24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,52	0,30	0,41	0,21	0,20	0,10	0,20	0,15	0,06	0,05	0,83	0,30	0,32	0,14	0,23
PF	1,20	1,39	1,43	1,32	1,0	0,85	1,15	1,53	3,37	4,09	1,17	6,10	0,20	1,55	1,19
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,25	0,28	0,78	0,14					0,29	0,46	0,24	1,86	0,10	0,24	0,43
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>									3,40	4,00		4,04	1,06	2,24	1,46

## Analyses chimiques (2)

	Eclogites										Pyroxénites		Kératophyres		Tufs acides	
	10	11	9	G1	G2	G6'	G8'	G13	8	6	48	49	59	60	149	174bis
SiO <sub>2</sub>	46,42	47,60	49,00	49,53	47,60	47,27	45,17	49,99	48,10	49,54	56,80	47,05	79,20	71,40	74,60	73,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,32	20,11	9,16	16,40	16,87	18,03	16,78	19,01	15,07	16,33	14,05	16,25	10,50	12,80	12,90	12,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,44	2,66	7,81	4,73	6,35	2,45	8,58	4,30	2,25	2,57	1,28	3,35	1,97	2,90	2,78	1,70
FeO	5,65	5,15	9,93	5,08	4,96	2,89	4,04	4,91	8,01	5,53	4,80	7,40	0,86	1,98	0,90	2,59
CaO	16,14	13,70	9,50	10,60	12,65	15,66	13,67	14,09	14,26	12,88	11,60	14,60	1,56	2,98	0,40	1,08
MgO	11,59	6,82	7,23	8,08	7,72	10,76	8,22	6,35	8,25	9,47	3,20	6,65	0,35	1,51	1,17	1,65
Na <sub>2</sub> O	1,44	1,97	1,77	3,47	1,28	1,66	1,80	1,90	1,72	2,44	2,70	1,78	4,27	4,27	2,43	2,54
K <sub>2</sub> O	0,17	0,60	0,67	0,37	0,16	0,16	0,25	0,09	0,25	0,47	1,90	0,50	0,11	0,24	2,28	2,20
MnO	—	—	—	0,17	0,10	0,13	0,26	0,11	—	—	0,11	0,14	0,03	0,08	0,04	0,05
TiO <sub>2</sub>	0,18	1,03	3,80	1,13	1,84	traces	1,30	1,90	1,70	0,37	1,00	1,00	0,18	0,67	0,60	0,80
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,46	0,20	0,17	0,17	0,10	0,17	0,14	0,09	0,05			0,03	0,07	0,16	0,18
PF													0,61	1,00	2,15	1,61
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	} 0,31	} 0,15	} 0,55	0,19	0,14	0,15	0,19	0,21	} 0,17	} 0,37	0,33	0,12	0,12	0,24	0,33	0,16
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>				0,87	0,22	0,75	0,42	0,58			0,90	0,90	0,60	0,91	2,16	1,36
CO <sub>2</sub>											0,50	traces				
Cl											traces	traces				

## AUTEURS

Cette notice explicative a été rédigée par M. TERS, professeur à l'université d'Amiens, avec la collaboration de : J.-M. VIAUD pour les terrains éocènes, miocènes et pliocènes.

Les déterminations paléontologiques sont dues à : A. BLONDEAU (Nummulites); Ph. BREBION (Gastéropodes), E. BUGE (Bryozoaires), J.-P. CHEVALIER (Madréporaires), A. LAURIAT-RAGE (Bivalves), J.-P. MARGEREL, Y. LE CALVEZ et P. MARIE (Foraminifères), D. PAJAUD (Brachiopodes), J. ROMAN (Echinides).

J.-J. CHATEAUNEUF, ingénieur géologue au BRGM, a rédigé ce qui concerne la micropaléontologie de l'Ilerdien et L. VISSET, maître assistant à l'université de Nantes, ce qui concerne l'étude palynologique du sondage CP 11 dans les terrains holocènes.

Ch. GREBER, ingénieur géologue au B.R.G.M., a bien voulu réviser les déterminations paléontologiques du Houiller de Saint-Mars-de-Coutais.

Le paragraphe consacré aux éclogites et aux amphibolites a été rédigé par G. GODARD, assistant à la faculté des Sciences de Nantes.

L'archéologie préhistorique a été rédigée d'après les indications de P. BELLANCOURT et de M. GRUET.

La synthèse hydrogéologique a été réalisée par O. LIMASSET, à partir des travaux de J. DEPAGNE et H. TALBO.

Le texte concernant l'hydrologie fluviale a été préparé d'après les indications fournies par le Service du Génie rural des Eaux et Forêts de la Loire Atlantique.

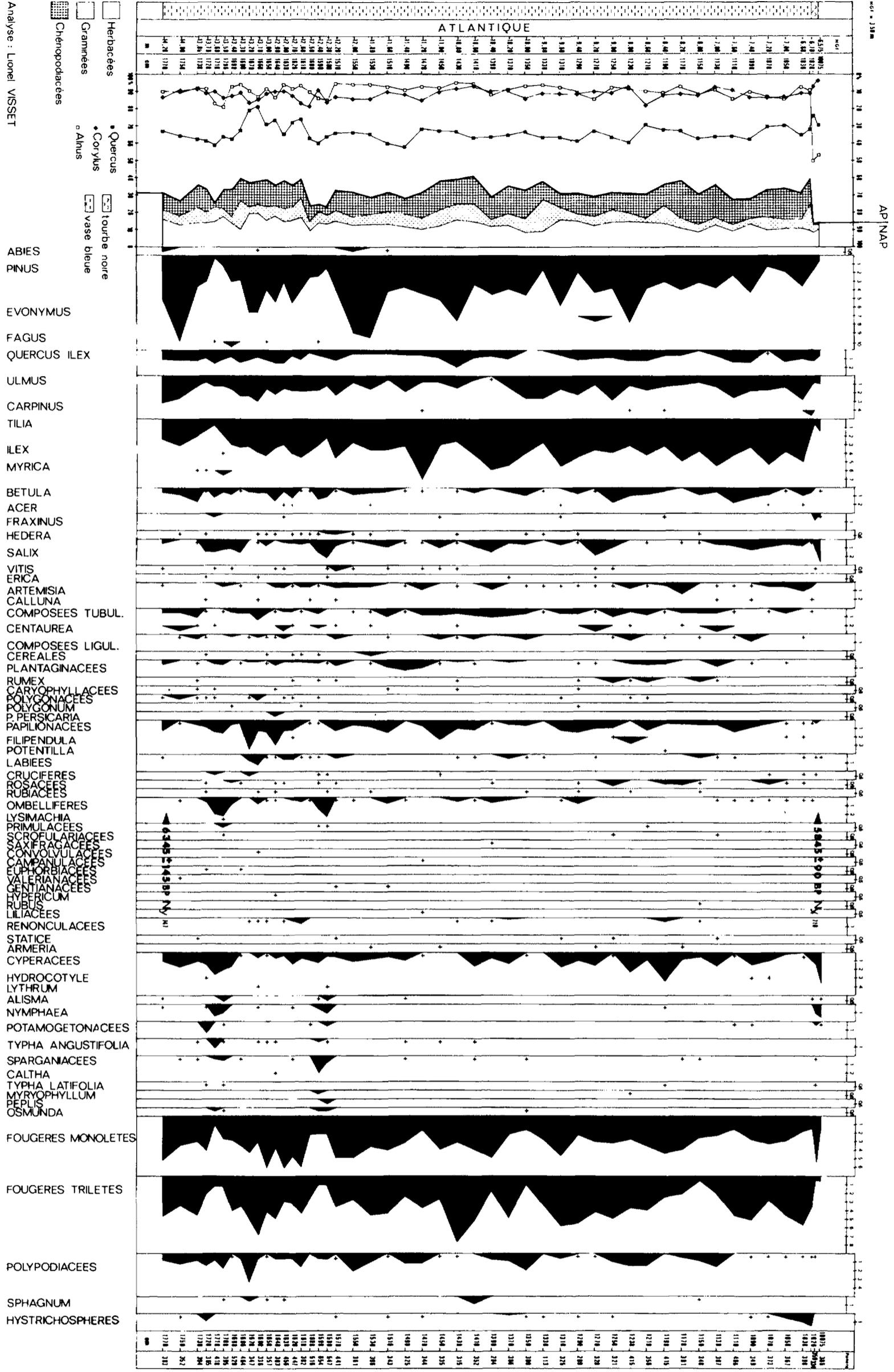
Le chapitre Gîtes minéraux est dû à A. BAMBIER, ingénieur géologue au B.R.G.M.

Les indications concernant les sondages ont été fournies par le S.G.R. Pays de la Loire (O. LIMASSET) et J.-M. VIAUD.

Les diagrammes géochimiques ont été établis avec la collaboration de J. CHANTRAINE.

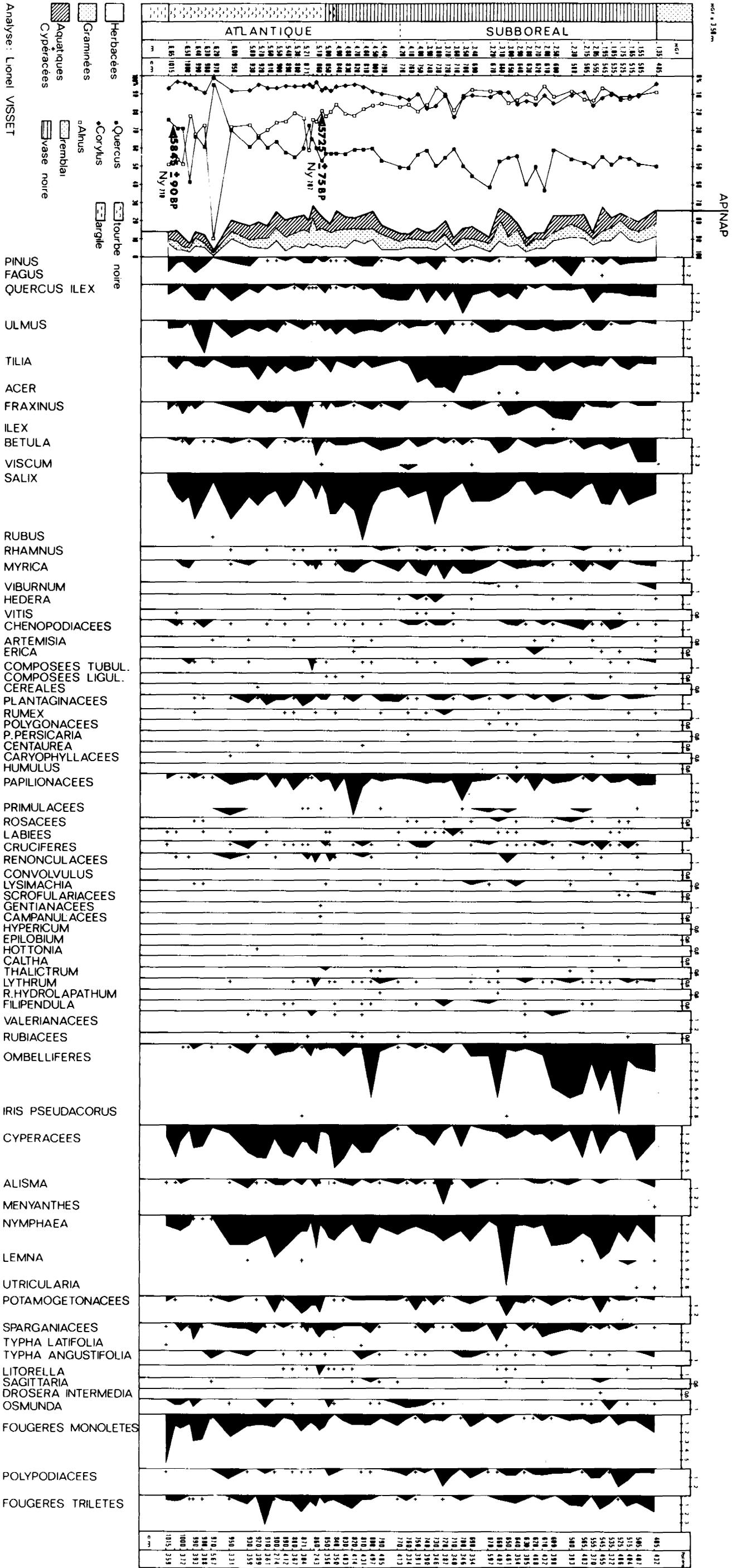


Fig. 4 - Diagramme pollinique du remplissement holocène (2)



Analyse : Lionel VISSET

Fig. 3 - Diagramme pollinique du remplissement holocène (1)



Analyse: Lionel VISSSET