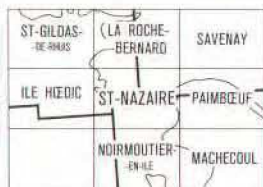




ST-NAZAIRE

La carte géologique à 1/50 000
ST-NAZAIRE est recouverte par les coupures suivantes
de la carte géologique de la France à 1/80 000 :

- au nord-ouest : QUIBERON - BELLE-ILE (N° 103)
- au nord-est : ST-NAZAIRE (N° 104)
- au sud-est : NANTES - ILE DU PILIER (N° 117)



CARTE GÉOLOGIQUE DE LA FRANCE A 1/50 000

BUREAU DE
RECHERCHES
GÉOLOGIQUES
ET MINIÈRES

ST-NAZAIRE

X - 23

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE
BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES
SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL
Boîte postale 6009 - 45018 Orléans Cédex - France



NOTICE EXPLICATIVE

SOMMAIRE

	Pages
INTRODUCTION	2
SOCLE MÉTAMORPHIQUE ET CRISTALLIN	2
<i>DESCRIPTION DES TERRAINS</i>	2
Schistes cristallins	2
Complexe migmatitique de la Basse-Loire	4
Magmatisme et formations filoniennes	6
<i>OBSERVATIONS STRATIGRAPHIQUES ET STRUCTURALES</i>	7
TERRAINS SÉDIMENTAIRES ET FORMATIONS SUPERFICIELLES ...	12
RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS	21
<i>HYDROGÉOLOGIE</i>	21
<i>RESSOURCES MINÉRALES</i>	22
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE	24
<i>COUPES SOMMAIRES DES SONDAGES</i>	24
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	25
<i>DOCUMENTS CONSULTABLES</i>	26
AUTEURS	26

INTRODUCTION

La feuille Saint-Nazaire couvre, en Bretagne méridionale, un domaine cristallophyllien dont la structure dominante SW—NE, rapportée à l'orogénèse hercynienne, est transverse par rapport au champ hercynien régional (domaine de l'Anticlinal de Cornouaille) de direction générale W.NW—E.SE.

L'affrontement entre cette direction hercynienne locale et la direction hercynienne générale de la Bretagne méridionale s'observe à l'Est de la feuille, à proximité de Saint-Nazaire. Les séries cristallophylliennes paraissent s'infléchir rapidement, passant de l'orientation SW—NE à une orientation E—W puis NW—SE au niveau de l'embouchure de la Loire. Plus à l'Est (feuille Paimboeuf) la direction sud-armoricaine est acquise, parallélisant l'Anticlinal cristallophyllien de la Basse-Loire à l'Anticlinal de Cornouaille proprement dit.

La géomorphologie et l'histoire sédimentaire récente traduisent de façon très nette la superposition de ces deux directions régionales et leurs rejeux successifs. Le plateau granitique de Guérande est découpé par des vallons SW—NE, correspondant le plus souvent à des intercalations micaschisteuses. Le réseau hydrographique a une tendance générale à suivre cette orientation, ce qui est le cas également pour l'embouchure de la Loire (infléchi ici vers le Sud-Ouest au niveau d'un décrochement senestre tardif des structures du socle en cette direction). L'autre direction structurale, surtout par l'intermédiaire de ses multiples rejeux, joue un rôle morphologique dominant : l'ensemble de la région est découpé en blocs ou lanières par des failles et des cisaillements NW—SE à W.NW—E.SE. La presqu'île du Croisic constitue un premier compartiment soulevé, allongé NW—SE, et isolé du bloc principal de Guérande—Saint-Nazaire par une bande affaissée allant de la rade du Croisic au Nord-Ouest jusqu'à la région de La Baule au Sud-Est. Sur le flanc nord-est du bloc principal s'étend un autre compartiment affaissé, la Grande Brière, rempli comme le précédent de sédiments flandriens et d'alluvions anciennes.

SOCLE MÉTAMORPHIQUE ET CRISTALLIN

par J. Cogné et B. Hassenforder

DESCRIPTION DES TERRAINS

Les parties centrale et nord-orientale du territoire couvert par la feuille Saint-Nazaire sont occupées par des roches à faciès migmatitique appartenant à la terminaison infléchie de l'Anticlinal de la Basse-Loire. Ces migmatites sont limitées au Nord-Ouest par une zone de cisaillement et d'écaillage occupée par le leucogranite syntectonique hercynien de Guérande—Le Croisic. De grandes loupes ou écailles micaschisteuses, allongées NE—SW sont coincées dans le granite entre Guérande et Escoublac. Au Sud de la Loire, ce domaine migmatitique est séparé des séries épi-métamorphiques de type vendéen, à porphyroïdes, par une autre zone de cisaillement orientée NW—SE et occupée également par une suture leucogranitique bordée de micaschistes à minéraux.

SCHISTES CRISTALLINS

§². **Schistes satinés.** Les formations les moins métamorphosées observées sur le territoire de la feuille se situent au Sud de la Loire où elles constituent le plateau rocheux des environs de Tharon, du flanc nord de la pointe Saint-Gildas à Saint-Michel-Chef-Chef. Il s'agit de schistes lustrés séricito-chloriteux à rares résidus biotitiques, bleuâtres ou gris de plomb, riches en petits interlits gréseux soulignant l'ancienne alternance sédimentaire. Ces schistes sont parfois riches en filonnets ou

amandes de quartz d'exsudation (rocher de Saint-Michel). Leur âge est inconnu. On les rapporte provisoirement aux mêmes niveaux briovériens (*s.l.*) que l'ensemble des séries homologues constituant, sous l'Ordovicien et le Silurien daté de Brétignolles (Vendée), les séries de Belle-Ile et de la côte vendéenne, sur le flanc sud du domaine de l'Anticlinal de Cornouaille.

La schistosité ou foliation principale, parallèle à la stratification, témoigne d'une structuration isoclinal primitive, intensément reprise dans les phases ultérieures de la déformation développées en conditions épizonales.

ξ². **Schistes ampéliteux à séquences rythmiques.** Associés aux schistes satinés, et achevant semble-t-il un premier cycle sédimentaire avant le dépôt des porphyroïdes, s'observent parfois des niveaux rythmiques fins et réguliers. Chaque rythme est constitué d'un lit clair, finement granulé, épais de un à quelques millimètres, passant à sa partie supérieure à un lit sombre d'épaisseur équivalente. Ces schistes ont un faciès « varvé » semblable à ceux décrits à Port-Salin en Belle-Ile (feuille Quiberon—Belle-Ile, 1/80 000), et une poussière charbonneuse ou graphiteuse abondante accompagne certains niveaux leur donnant un aspect ampéliteux.

Localement l'abondance plus grande de silice détermine dans ces niveaux des barres de *microquartzites noirs* (Gr) fréquents au Nord de Saint-Michel-Chef-Chef et dans le secteur du Cormier où elles parsèment les plages de cailloux et galets de pseudophanites. Des bandes similaires de microquartzites graphiteux se notent dans les migmatites et les micaschistes du flanc nord de l'Anticlinal de la Basse-Loire.

ρξ². **Porphyroïdes.** Les porphyroïdes de Saint-Michel-Chef-Chef et de Tharon-Plage ont les mêmes caractéristiques que ceux de Belle-Ile auxquels ils s'apparentent étroitement. Ils sont comme ceux-ci considérés comme un niveau détritico-volcanique caractéristique de la base du Briovérien supérieur (ou Infracambrien) de ces régions. Leur analogie avec l'*Ollo de Sapo* infracambrien de Galice, ou avec les *gneiss œillés* qui recouvrent les nappes cristallophylliennes de la baie d'Audierne (gneiss de Languidou) ou de Champtoceaux (gneiss de la Mauvoisinière) — ces derniers sous le Briovérien supérieur des Mauges recouvert à son tour par le Cambrien à *Paradoxides* — confirme cette interprétation.

Ils sont constitués d'une trame quartzo-séricito-chloriteuse homologue de celle des schistes lustrés environnants, englobant des yeux ou nodules globuleux, monocristallins en général, de feldspath potassique (microcline), de quartz bleuté, exceptionnellement de plagioclase. La taille de ces éléments varie de quelques millimètres à un ou deux centimètres. Ils se disposent en bancs bien lités, parfois grano-classés. Certains niveaux à granulation plus fine évoquent des tufs volcaniques acides aériens. L'ensemble de la formation est de ce fait considéré comme volcano-détritico sinon comme un mélange ou une alternance de produits détritico et volcaniques acides.

ξ¹. **Micaschistes à minéraux.** Les formations micaschisteuses affleurent de part et d'autre du domaine migmatitique central. Au Sud de la Loire, elles forment le passage entre les schistes épi-métamorphiques et les gneiss granitoïdes, dans une zone de cisaillement sur le flanc sud-ouest de l'Anticlinal de la Basse-Loire matérialisée par la mince bande de granite syntectonique des Rochelets. Au Nord de la Loire, les micaschistes affleurent en bandes alignées NE—SW, pincées dans le granite syntectonique de Guérande, sur le flanc nord-ouest également cisailé du complexe migmatitique. Ces micaschistes renferment des bancs de grès quartzites (G) et de quartzites graphitiques (Gr). Il s'agit de formations poly-métamorphiques présentant sur un fond de quartz, muscovite et biotite, des minéraux de métamorphisme secondaire tels que sillimanite, staurotide et grenat. De la tourmaline tardive est toujours présente dans le fond de la roche.

Micaschistes à minéraux de la Roussellerie. Sur un fond ancien de quartz, albite, muscovite et biotite cristallisent des minéraux secondaires, transverses sur la foliation principale : on peut y reconnaître, selon le secteur, de la sillimanite en amas flexueux,

de l'andalousite, de la staurotide, de la biotite secondaire et du grenat.

Micaschistes à grenat de la région de Guérande—Escoublac. Dans les bandes micaschisteuses situées sur le flanc nord-ouest du complexe migmatitique on retrouve également des roches à quartz, albite, muscovite et biotite comprenant des minéraux secondaires (staurotide, biotite II et grenat). La tourmaline tardive peut prendre un développement très important, surtout dans des lits bien définis.

COMPLEXE MIGMATITIQUE DE LA BASSE-LOIRE

La série migmatitique de la Basse-Loire est formée de gneiss granitoïdes et de granites migmatitiques issus d'une anatexie différentielle développée aux dépens de formations sédimentaires homologues de celles qui caractérisent le Briovérien épi-métamorphique décrit précédemment. La différence de niveau ou faciès métamorphique s'explique par la répétition et l'épaississement tectonique isoclinal ou couché ancien d'un même complexe sédimentaire géosynclinal rapporté originellement au Briovérien moyen ou supérieur.

D'une façon générale, on peut distinguer deux ensembles parmi ces faciès migmatitiques :

- un ensemble de gneiss à faciès embréchitique, issus d'une remobilisation faible, métatectique, qui s'appuie sur la structure litée ou foliée de la roche-mère. Cette structure litée est conservée dans les embréchites, les morbihannites et les gneiss œillés qui caractérisent l'ensemble. Des horizons basiques calc-silicatés (amphibolites, pyroxénites) y sont interstratifiés ;
- un ensemble où la remobilisation est plus intense, à faciès anatectique. Ce stade correspond régionalement aux voussures migmatitiques hercyniennes précoces de Bretagne méridionale et, dans le cas de la feuille Saint-Nazaire, à la voussure de l'Anticlinal de Basse-Loire, contemporain de l'Anticlinal de Cornouaille. Les faciès appartenant à cet ensemble sont essentiellement des gneiss granitoïdes nébulitiques et les granites d'anatexie (datés à 360 M.A.).

M et (M). **Migmatites indifférenciées.** Prolongement rocheux, sous le niveau des plus basses mers, des faciès migmatitiques reconnus à terre.

Migmatites à faciès embréchitique

M². **Gneiss métatectiques à biotite et sillimanite (embréchites).** C'est le faciès moyen le plus courant des migmatites silico-alumineuses de la Basse-Loire. Ils se présentent sous la forme de roches plus ou moins finement rubanées avec une alternance (ségréation) de lits quartzo-feldspathiques clairs (leucosome granitoïde) et de lits phylliteux sombres (mélanosome).

Le leucosome est constitué de quartz, oligoclase, microcline (myrmékites réactionnelles au contact du plagioclase), apatite.

Le mélanosome est essentiellement biotitique mais peut présenter, dans certains faciès plus alumineux, un peu de sillimanite, grenat, cordiérite. De la muscovite tardive se manifeste en lames poecilites, dispersées.

M² cs. **Gneiss granitoïdes alumineux (morbihannites).** Au sein des embréchites s'observent localement des niveaux plus sombres, plus micacés, riches en (disthène)-sillimanite, cordiérite, grenat, et analogues dans leur faciès pétrographique et leur conditions de métamorphisme catazonal aux kinzigites. Ce sont les *morbihannites* définies il y a près d'un siècle dans le golfe du Morbihan. Elles apparaissent en général au voisinage de gneiss œillés (carrière de bois Jolland à l'Ouest de Saint-Nazaire, Le Pointeau en Saint-Brévin, région de Sainte-Marguerite—pointe de Chémoulin) et contiennent ou jalonnent d'importants niveaux calc-silicatés, pyroxéniques ou amphiboliques.

Au microscope la trame micacée, très épaisse, apparaît constituée de biotite souvent accompagnée d'ilménite ou de rutile et de masses fibreuses de sillimanite. La cordiérite se présente en plages allongées avec des inclusions fibrolitiques. Le grenat est parfois abondant.

Les éléments quartzo-feldspathiques sont groupés en amandes allongées à granulation plus ou moins grossière, constituées de quartz, d'oligoclase-andésine (An_{28-30}) et de microcline abondant. Cordiérite et sillimanite y sont fréquentes.

pM^2 . **Gneiss œillés porphyroïdes.** Interstratifiés dans les embréchites se notent des horizons de gneiss œillés bien délimités passant parfois à des bancs de tendance leptynitique (Bellefontaine, Ville-ès-Martin, Le Pointeau). Les yeux centimétriques sont constitués de monocristaux globuleux ou étirés en amande de microcline, dispersés dans une trame quartzo-feldspathique et micacée à grain fin. Tels quels ces niveaux, d'origine sédimentaire probable, évoquent directement les horizons de porphyroïdes inclus dans les schistes épi-métamorphiques observés plus au Sud.

δ^1, δ^2 . **Amphibolites, pyroxéno-amphibolites, pyroxénites à dipyre.** Ca. **Calcaires cristallins à pyroxène et dipyre.** Les niveaux pyroxéniques et amphiboliques et calcaires cristallins associés représentent, au sein des migmatites, plusieurs bandes ou noyaux remarquables, par répétition vraisemblable d'un seul et même niveau sédimentaire initial.

Les calcaires cristallins (Ca) sont rares et inaccessibles à l'affleurement sur le territoire de la feuille : le gisement classique de Ville-ès-Martin et celui mis à jour récemment dans le port de Saint-Nazaire (*) sont cachés en effet par suite des endiguements côtiers et travaux du port. Il s'agit, au sein de gneiss migmatitiques alumineux (morbihannites, kinzigites), de noyaux ou lentilles épaisses de quelques mètres à quelques dizaines de mètres montrant une association de calcite, diopside, phlogopite, labrador, dipyre, avec accessoirement grenat, sphène, microcline, spinelle, pyrrhotine, etc. Parmi ces minéraux certains sont primaires (calcite, diopside, labrador, grenat) et correspondent aux conditions catazonales du métamorphisme initial, affichées par l'encaissant kinzigitique. D'autres sont secondaires et correspondent au métamorphisme de haute température mais de pression basse ou intermédiaire responsable de la migmatisation (ouralitisation des pyroxènes, croissance du microcline et développement du dipyre).

Plus fréquentes et mieux accessibles (l'Étang, Ville-ès-Martin, Saint-Brévin) sont les pyroxénites avec ou sans dipyre, les pyroxéno-amphibolites ou les amphibolites (δ^1, δ^2), disposées en bandes larges de quelques dizaines de mètres.

Les pyroxénites de l'Étang et de Saint-Brévin sont des roches verdâtres et claires, montrant à l'altération un aspect lité d'origine sédimentaire probable. L'analyse microscopique y révèle les mêmes minéraux que dans les calcaires cristallins mais en proportions très différentes puisque la calcite y est rare et le labrador entièrement remplacé par de l'oligoclase et du dipyre.

Les pyroxéno-amphibolites et amphibolites du phare de Ville-ès-Martin correspondent à des niveaux plus sombres mais également lités, dans lesquels alternent des lits centimétriques de pyroxénites et des lits plus sombres riches en hornblende et pyroxène. Le dipyre est absent et le labrador persiste altéré et déformé.

Ces roches basiques d'origine sédimentaire se retrouvent sur les feuilles voisines au sein des migmatites de l'Anticlinal de Cornouaille, dans des conditions homologues de gisement : noyaux calc-silicatés, lits métriques à décimétriques formant un même horizon répété par plissement isoclinal anté-migmatitique (feuilles Paimbœuf, La Roche-Bernard, Vannes, Auray à 1/50 000). Associées aux niveaux alumineux ou ferro-alumineux donnant naissance aux morbihannites kinzigitiques, il semble possible de les paralléliser aux horizons pyroxéniques similaires observés dans le Briovérien métamorphique (à staurotide - disthène) de la région de Baud (Morbihan) puis de là aux niveaux argilo-calcaireux du Briovérien moyen-supérieur de Bretagne centrale aussi bien que de Vendée.

(*) signalé et reporté sur la carte d'après F.H. Forestier (Nantes).

Migmatites à faciès anatectiques

$M^2\gamma$. **Gneiss diatexitiques.** — PM^2 . **Amas granitoïdes et pegmatoïdes diffus.** Par dissociation de la trame embréchitique et des exsudats anatectiques locaux en loupes ou filonnets d'épaisseur centimétrique à décimétrique, se développent des faciès hétérogènes caractérisés par un mélange de gneiss embréchitiques et d'un jus granitoïde ou pegmatoïde exsudé secondairement. Ces faciès sont particulièrement développés dans le secteur s'étendant de Saint-Marc au Petit Gavy. On y observe en outre des bouffées granitoïdes anatectiques locales d'où s'échappent, à travers la masse embréchitique, des filonnets sécants. Ailleurs ce sont des masses pegmatoïdes à microcline et biotite qui se développent dans des conditions analogues, parfois difficiles à distinguer de celles qui accompagnent les phases plus tardives (à muscovite) auxquelles se rattachent les leucogranites.

M^1 . **Gneiss granitoïdes nébulitiques.** — γA . **Granites anatectiques.** Par recristallisation et homogénéisation progressive, cette évolution conduit à des roches granitoïdes dans lesquelles subsistent des fantômes ou traînées diffuses de la trame initiale (roche Chauvatte, baie des Marsouins) (M^1). On aboutit ainsi à des amas granitiques plus ou moins bien homogénéisés (γA), plus ou moins riches en biotite, parfois chargés de petites enclaves cristallographiques sur-biotitiques (fort de l'Éve près de Saint-Marc). Il s'agit alors d'une roche granitique à grain fin, aux feldspaths en grain de semoule sub-quadrangulaires, cloisonnés par la biotite et le quartz. L'albite-oligoclase, sub-automorphe, est fréquemment zonée. Le microcline un peu plus grand tend à l'englober et des bourgeonnements myrmékistiques réactionnels se développent au contact des deux feldspaths. L'apatite est fréquente. La cordiérite, plus rarement la sillimanite, l'andalousite ou le grenat, sont exceptionnels.

MAGMATISME ET FORMATIONS FILONIENNES

$\zeta\gamma^{1-2}$. **Leucogranite de Guérande—Le Croisic.** La partie nord-ouest du territoire de la feuille est occupée par un granite clair, généralement assez grossier, plus riche en muscovite qu'en biotite, nettement feuilleté ou orienté. Il est constitué principalement de quartz, en cristaux globuleux, et de feldspaths alcalins (microcline, albite) en égale abondance. Les microclines sont microperthitiques et présentent souvent, au cœur, un nuage albitique à contour flou ou amiboïde. De l'albite (An_{5-10}) constitue en outre des cristaux bien formés et maclés. La muscovite se présente en grandes lamelles allongées et fraîches tandis que la biotite n'apparaît qu'en petites paillettes plus ou moins chloritisées ou muscovitisées.

L'étude des relations des phases minérales entre elles montre une évolution complexe de ce granite, en liaison avec le cadre structural de sa mise en place. On note en particulier une déformation et une fracturation suivie de recristallisation des premiers minéraux formés : globules de quartz polycristallins étirés, microclines microperthitiques moirés envahis secondairement par l'albitisation et la muscovitisation, albite primaire fracturée et ressoudée par de l'albite ou du quartz.

Ce granite s'introduit en lames au sein des schistes cristallins (micaschistes et migmatites) selon leurs plans structuraux tardifs. Alors que vers le Nord (feuille La Roche-Bernard) il apparaît, à son toit, nettement intrusif dans les micaschistes, sur son flanc sud (à sa base ?) il présente souvent des contours plus diffus et conserve en son sein de longues bandes micaschisteuses ou migmatitiques secondairement muscovitisées et albitisées. Des masses granitoïdes anatectiques (γA) ou pegmatoïdes (PM^2) ainsi muscovitisées ou albitisées subsistent de cette façon au flanc sud du leucogranite (côte sud de la presqu'île du Croisic) difficiles souvent à distinguer du leucogranite lui-même. L'origine de celui-ci ne semble donc pas devoir être recherchée dans des zones infracrustales très profondes, mais plutôt dans l'extrusion syntectonique d'un jus anatectique secondaire à partir des régions migmatitiques elles-mêmes au cours des déformations hercyniennes post-migmatiques.

Telle quelle cette lentille ou masse granitique, plongeante en feuillets vers le

Nord-Ouest, occupe un contact tectonique majeur entre les schistes cristallins catazonaux et mésozonaux de la Basse-Loire et les micaschistes épizonaux du flanc nord de la presqu'île de Guérande (feuille La Roche-Bernard).

C'est une position homologue qu'occupe au Sud le feuillet leucogranitique sub-vertical (décroché au niveau de la Loire) qui s'étend des Rochelets vers les îlots de Charpentier, Baguenaud, Les Evens, le long d'un contact également tectonique entre ces mêmes gneiss migmatitiques catazonaux et les schistes satinés vendéens.

v. **Lamprophyres.** Au Sud-Est de Batz-sur-Mer se notent quelques petits filons lamprophyriques surmicacés, orthosiques.

Q. **Quartz.** Des filons de quartz W.NW-E.SE recourent les micaschistes à minéraux de la Roussellerie—l'Hermitage, parallèlement au contact tectonique qui limite à sa bordure sud l'Anticlinal migmatitique de la Basse-Loire. Ces filons paraissent stériles.

aγ. **Aplite filonienne.** Reconnue en sondage sous les alluvions de l'estuaire de la Loire. Roche saccharoïde claire, quartzo-plagioclasique à microcline, satellite probable des granites anatectiques.

OBSERVATIONS STRATIGRAPHIQUES ET STRUCTURALES

Les formations cristallophylliennes figurant sur la feuille Saint-Nazaire se sont développées aux dépens de séries anté-cambriennes jeunes (Protérozoïque supérieur) ou infra-paléozoïques. Celles-ci sont rapportées au cycle sédimentaire briovérien *s.l.* (défini dans le Nord du Massif armoricain) dont les derniers dépôts sont directement antérieurs aux formations paléozoïques et peuvent même, dans les régions sud-armoricaines, déborder le début des temps primaires.

Derrière les faciès métamorphiques correspondant à des niveaux structuraux très différents, on peut reconnaître en effet sur l'ensemble de la feuille, les mêmes grandes séquences sédimentaires régionales propres au Briovérien moyen et supérieur. Plissées sur elles-mêmes en structures couchées, celles-ci se trouvent ainsi répétées à des profondeurs variables dans des conditions thermiques et dynamiques allant de la catazone profonde à l'épizone, des gneiss à biotite et sillimanite aux schistes lustrés.

La séquence stratigraphique initiale dans son contexte régional

Elle se résume en une épaisse et monotone série argilo-pélimitique dénuée de toute discordance interne connue. Ceci la différencie sensiblement de celle qu'on observe au sein du domaine de l'Anticlinal de Cornouaille proprement dit où une telle discordance apparaît à la base des gneiss œillés (porphyroïdes) de Languidou (série de la baie d'Audierne, feuille Pont-Croix) ou de la Mauvoisinière (série de Champtoceaux, feuille Vallet).

Les porphyroïdes à feldspaths potassiques constituent ici également un horizon repère très précieux au sein de cette monotone série dans laquelle ils se trouvent interstratifiés. Encore convient-il d'éviter de les confondre avec certains horizons homologues connus ailleurs dans le Paléozoïque vendéen. La distinction est délicate et fait appel, outre au contexte stratigraphique, à la nature différente des feldspaths et au caractère plus directement pyroclastique (voire ignimbritique) des formes plus récentes.

A ces porphyroïdes à microcline sont associés des niveaux quartzo-feldspathiques plus fins, arénacés ou tuffacés, transformés par métamorphisme en leptynites.

On convient de situer au niveau de ces porphyroïdes ou leptynites la base du Briovérien « supérieur » sud-armoricain, en continuité ici sur un Briovérien « moyen » argilo-pélimitique (*).

(*) Le Briovérien « inférieur » sud-armoricain, à volcanisme « océanique » basique et ultrabasique, n'est connu que remonté tectoniquement à partir des régions catazonales au flanc nord du domaine de l'Anticlinal de Cornouaille (séries de la baie d'Audierne et de Champtoceaux), ainsi que, peut-être, dans le prolongement sud-est de l'Anticlinal de la Basse-Loire (éclogites et formations connexes de la feuille Saint-Philbert-de-Grandlieu).

Sous les porphyroïdes, ce Briovérien « moyen » s'achève par une sédimentation finement rythmique, parfois riche en matière organique caractérisant des milieux sédimentaires peu profonds, sapropéliens ou lagunaires, écho paléo-géographique latéral des premières phases orogéniques cadomiennes développées plus au Nord.

Au-dessus des porphyroïdes une sédimentation flyschoidse développe, argilo-gréseuse et argilo-péltitique, rythmée, contenant un ou quelques horizons argilo-calcareux et alumineux et parfois (non connus sur le territoire de la feuille) des émissions volcaniques basiques (spilites). Le sommet de la série n'est pas connu et c'est par contacts tectoniques que se trouvent pincées vers le Sud les séries ordoviciennes et siluriennes du Synclinal de Brétignolles. C'est la raison pour laquelle rien n'empêche d'admettre que le Briovérien « supérieur » sud-armoricain comprenne des dépôts du Paléozoïque inférieur : on date vers 540 M.A. en effet, avant le dépôt du Cambrien moyen, la fin de l'évolution structurale et métamorphique de la nappe cristallophyllienne de Champtoceaux, située plus à l'Est.

L'évolution tectonique et métamorphique

Ces formations sédimentaires sont affectées par quatre phases ou périodes principales de déformation et de métamorphisme, liées aux évolutions orogéniques s'étendant de la fin des temps cadomiens jusqu'aux temps hercyniens (*).

Au cycle orogénique cadomien (*s.l.*) sont attribuées deux séries de déformations à caractère profond, l'une de direction E—W, l'autre de direction N—S. Au cycle orogénique hercynien se rattache tout d'abord une déformation d'axe NE—SW à caractère syn-migmatitique, puis des phases plus localisées et de caractère plus superficiel reprenant cette direction NE—SW ou bien développant de nouveaux plis et fracturations en direction NW—SE.

Le cycle cadomien. Au cycle cadomien, attardé ici par rapport aux régions septentrionales d'Armorique, après le dépôt du Briovérien supérieur, est attribuée la première étape de déformation et de métamorphisme affectant tout l'ensemble de la série briovérienne. Cette première phase développe des structures tangentielles d'axe E—W, plis couchés à déversement vers le Sud, répétant plusieurs fois sur elle-même la série briovérienne, la surépaississant et la laminant en plis isoclinaux intra-foliaires ou syn-métamorphes.

Deux régions ou *provinces* métamorphiques très différentes, présentant apparemment le même fond sédimentaire et structural primitif, résultent de cette première étape et s'observent sur la feuille Saint-Nazaire :

- une *province* mésozonale et catazonale, constituée de micaschistes et de gneiss à biotite, sillimanite, grenat, répondant dans son ensemble au faciès amphibolite mais pouvant atteindre dans certains niveaux faiblement hydratés le faciès granulite (leptynites granulitiques, pyroxénites à labrador et grenat dans un climat métamorphique kinzigitique) (région nord de la feuille) ;
- une *province* épizonale, vraisemblablement allochtone par rapport à la précédente, de faciès schiste vert et n'atteignant que rarement l'isograde de la biotite (partie sud de la feuille).

Cycle intermédiaire. D'âge imprécis, une deuxième phase d'axe sub-méridien, également isoclinale, accompagne dans les zones profondes le développement de la métatexie. Elle se caractérise par des plis concentriques aplatis, propres aux gneiss migmatitiques, et disparaît dans les zones plus superficielles.

L'âge exact de cette phase est difficile à déterminer. Postérieure aux structures E—W qui affectent tout l'ensemble, elle paraît assez proche de la première phase pour avoir permis à la métatexie de se développer dans des conditions thermodynamiques proches de celles du métamorphisme initial dans les régions profondes. C'est pourquoi nous la considérons provisoirement comme tardi-cadomienne plutôt que comme hercynienne précoce ou « calédonienne ».

Le cycle hercynien. C'est le cycle hercynien qui détermine en fait, dans son état actuel, la structure dominante des terrains constituant la feuille Saint-Nazaire, à la suite du soulèvement ou de l'intumescence, en Bretagne méridionale, du domaine de

(*) voir en fin de notice la note ajoutée en cours d'impression.

l'Anticlinal de Cornouaille et de son satellite l'Anticlinal de la Basse-Loire sur lequel se découpe la feuille. C'est le cycle hercynien qui est responsable également du hiatus considérable existant entre les secteurs périphériques épizonaux et le noyau migmatitique profond. Ceux-ci en effet apparaissent découpés l'un par rapport aux autres non pas selon des relations de socle—couverture mais selon des relations d'infrastructure mobile et de superstructure, séparés par des accidents tangentiels et cisailants secondaires ou tardifs (*).

a) Dans les zones profondes, restées profondes et probablement thermiquement actives depuis la fin des temps cadomiens, se dessine la première phase hercynienne, phase précoce datée à 370 M.A., marquée par l'anatexie qui accompagne la formation des voussures anticlinoriales migmatitiques. Contemporain de l'Anticlinal de Cornouaille, mais transverse ici par rapport à celui-ci, se développe l'Anticlinal de la Basse-Loire marqué par des plis souples, rhéomorphes, syn-migmatiques, se déversant progressivement du Nord-Ouest vers le Sud-Est. Ces plis, d'axe NE—SW, s'estompent rapidement vers les régions méridionales plus superficielles, où ils déterminent encore dans les micaschistes quelques charnières aiguës de petite dimension. Par contre, ils restent dominants vers le Nord et semblent responsables de la structuration du Pays de Guérande dont l'évolution se poursuivra et s'achèvera plus tard par la mise en place du granite de Guérande lui-même, dans un jeu complexe de chevauchements et d'écaillages tardifs du Nord-Ouest vers le Sud-Est (feuille La Roche-Bernard).

La direction anormale de cette phase hercynienne précoce en Basse-Loire semble souligner ici une région particulière d'inflexion et peut-être de rotation senestre secondaire de ce secteur compris entre l'estuaire de la Vilaine et celui de la Loire, par rapport aux régions situées au Sud de la Loire ou celles appartenant à l'Anticlinal de Cornouaille proprement dit.

b) Après cette phase hercynienne précoce d'âge fini-dévonien et de caractère profond, infrastructurale, les phases ultérieures s'expriment dans des conditions superstructurales par des écaillages tangentiels, des plis cassants et cisailants.

Deux directions croisées vont être ainsi conduites à rejouer à diverses reprises, réutilisant les deux directions régionales majeures des mouvements infrastructuraux précoces : la direction régionale NW—SE, dite sud-armoricaine, et la direction NE—SW (plus locale) propre à la terminaison occidentale de l'Anticlinal de la Basse-Loire.

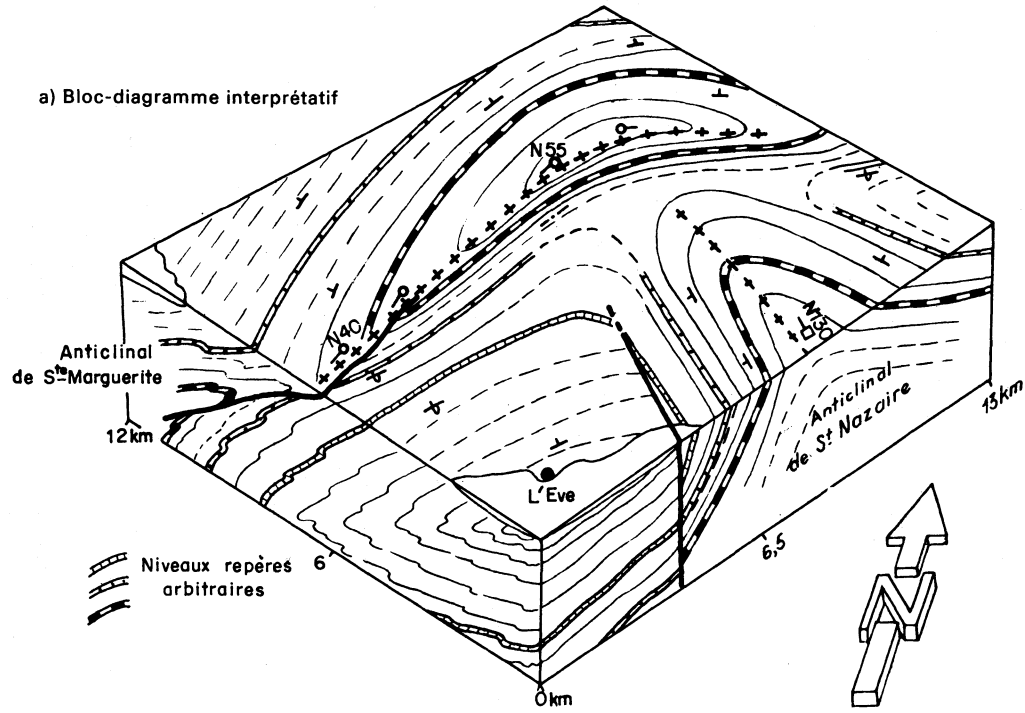
Aux rejeux de cette dernière doivent être rapportés les chevauchements et écaillages du Pays de Guérande, au sein desquels se dispose le leucogranite syntectonique (320 M.A.). C'est à cette même étape qu'il convient de rapporter l'écaillage et le chevauchement du pli anticlinal de Sainte-Marguerite, au sein des migmatites. Ce chevauchement prolonge en quelque sorte le mouvement esquissé au cours de la phase précoce et conduit les migmatites du flanc inverse de cet anticlinal, couchées et écrasées, à reposer sur les migmatites redressées plus méridionales (pointe de Chémoulin) (fig. 1b).

Plus importants vers le Sud et le Sud-Est de la feuille sont les rejeux de direction sud-armoricaine accompagnés également par la mise en place de leucogranites syntectoniques (Les Rochelets, Charpentier, Les Evens). Ils s'expriment d'abord par une voussure anticlinoriale secondaire, NW—SE, passant au niveau de Saint-Nazaire et recoupant obliquement l'Anticlinal de la Basse-Loire (fig. 1a), et accusant la virgation régionale des séries migmatitiques.

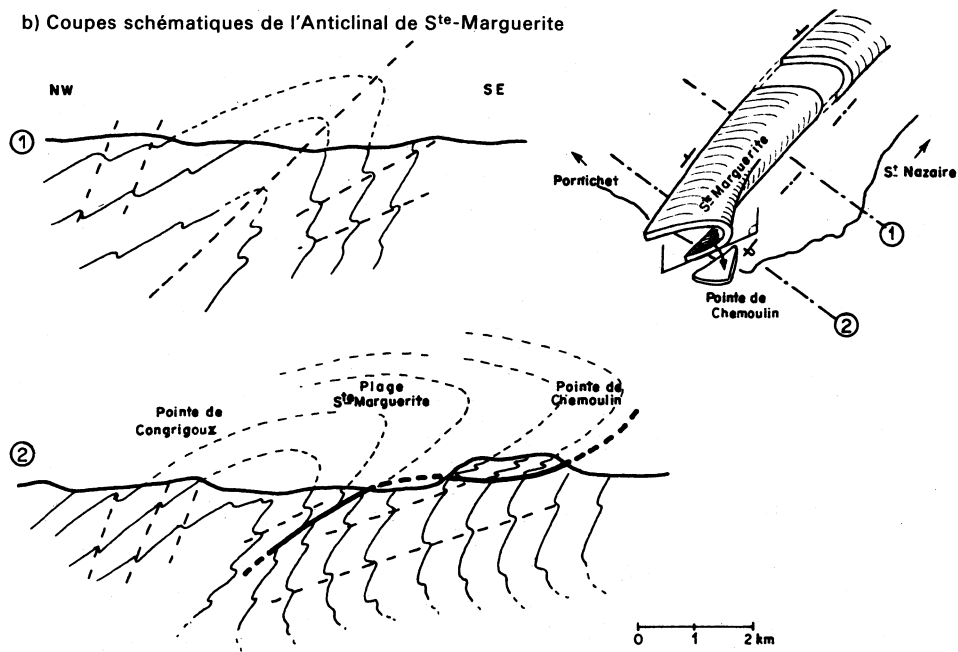
Dans les micaschistes et schistes satinés ces mêmes plis s'expriment par un gauffrage et des *kinks* dans les porphyroïdes (Saint-Michel-Chef-Chef, Tharon) et par des plis plus serrés en chevron dans les schistes satinés. Une schistosité secondaire, crénelante, subverticale, est associée à cette déformation.

(*) Les études géochimiques isotopiques et géochronologiques récentes, effectuées sur ces séries catazonales que l'on pourrait rapporter à un « socle » anté-briovérien au vu des disharmonies tectoniques et du hiatus métamorphique qui les séparent des séries épizonales sur la feuille Saint-Nazaire, et l'étude en particulier des rapports isotopiques initiaux des granites anatexiques, puis des leucogranites hercyniens qui en dérivent, confirment qu'il s'agit, en tout état de cause, non pas d'un matériel crustal ancien, mais de séries initiales d'âge relativement peu élevé par rapport à ces granites, précambrien jeune ou infra-paléozoïque (Ph. Vidal, travaux en cours).

Fig.1 – Terminaison occidentale du domaine de l'anticlinal de Basse-Loire
 Zone d'inflexion



b) Coupes schématiques de l'Anticlinal de S^{te}-Marguerite



c) Au-delà de cette période d'âge fini-dinantien à namurien, des phases terminales de fracturation marquent la fin des temps hercyniens puis les retouches par blocs découpés selon les deux directions NW—SE et NE—SW au cours des temps mésozoïques et cénozoïques, jouant un rôle important dans la morphologie et le découpé actuel des côtes et des estuaires, mais mineures par rapport aux stades antérieurs de l'évolution de la région.

TERRAINS SÉDIMENTAIRES ET FORMATIONS SUPERFICIELLES

par L. Barbaroux

85. Lutétien. Calcaire, calcaires dolomitiques et dolomies à *Nummulites brongniarti*.

Le Lutétien n'est bien représenté qu'au large du Croisic (La Banche, la Lambarde, banc de Guérande) ; on trouve des blocs épars dans la région des phares du Grand et du Petit Charpentier. Des études géophysiques semblent indiquer son extension, sous les dépôts récents, dans le chenal des Charpentiers. Signalons également la présence de Lutétien dans la région de Saint-Lyphard et du Bas Bergon en Grande Brière (feuille La Roche-Bernard). Ce sont des calcaires, calcaires dolomitiques et dolomies (La Banche, la Lambarde) auxquels s'adjoignent parfois des argiles (Bas Bergon). Ils contiennent *Nummulites brongniarti* d'Arch., *Alveolina elongata* d'Orb., *Orbitolites* sp. et *Miliolidae*.

Signalons la découverte récente (1971), par carottage sous-marin, d'un dépôt yprésien sous le Lutétien du plateau du Four (à l'Ouest de la région couverte par la feuille) sous forme de sables et argiles jaunes et gris, glauconieux à *Nummulites planulatus* Lam., *Assilina placentula* Desh., *Alveolina oblonga* d'Orb. Cette association caractérise le Cuisien inférieur et moyen. Cette formation peut être rapportée à une transgression qui a dû précéder immédiatement celle du Lutétien supérieur sus-jacent.

DÉPÔTS QUATÉRNAIRES CONTINENTAUX

Tyrrhénien I. Signalés par Abrard et par Bourcart, des grès jaunes à faune marine tyrrhénienne chaude, d'affinité méditerranéenne, sont quelquefois rejetés sur la plage de La Baule. Ils appartiendraient à l'Interstadaire Mindel-Riss ; leur gisement d'origine n'a pu être localisé ; il est probablement submergé et recouvert par les dépôts récents. Nous avons retrouvé par dragage quelques galets de ce type dans la région de La Banche—chenal du Nord.

Fy. Alluvions anciennes des basses terrasses. Ces alluvions (alt. env. +5 m) relèvent vraisemblablement de la nappe d'alluvions wurmiennes homologues signalée dans la vallée de la Loire (—27 m à Nantes, —37 m à Donges et Montoir). Elles sont formées de sables limoneux ou de dépôts hétérométriques de type « rivulaire », voire de cailloutis quartzeux. On les trouve dans les zones abritées en bordure de la Brière et du coteau guérandais. Les matériaux sont divers et hérités ; ils contiennent parfois des sables éolisés, des sables rubéfiés et des cailloutis quartzeux dont l'origine pliocène est probable.

Des études morphologiques montrent l'existence de niveaux d'aplanissement sans dépôt ou recouverts de cailloutis épars, non cartographiables, à la cote +60 m (Guérande), +35 m (région de Guérande—Escoublac, Cuy et Mazy, Chémoulin), +15 m (Le Croisic—Batz, Tregoët—Saint-André-des-Eaux). Ces niveaux sont basculés et déformés dans la région de Chémoulin—Saint-Marc—Dissignac, par des phénomènes tectoniques (cf. *infra*).

SC. Dépôts de versants, colluvions, formations de solifluxion. Des limons et blocs hétérométriques à matériaux locaux empâtent de façon très inégale en épaisseur les versants du coteau de Guérande (de Trévaly à Beslon). Ces dépôts ont englobé et recouvert localement les basses terrasses. Ils sont parfois repris et redistribués par le ruissellement récent et acquièrent alors le caractère de dépôts « rivulaires » au sens de

G. Denizot. Ce phénomène est le plus net sur le coteau guérandais mais se retrouve parfois de façon discrète sur les flancs des petites vallées où il n'a pas été possible de les représenter.

Fz. **Alluvions modernes.** Nous n'insisterons pas sur les caractères du remplissage de la Loire estuarienne, dont les aspects actuels seront repris dans la description des dépôts du plateau continental. Les alluvions de la Grande Brière, étudiées dans divers sondages, montrent que les dépôts récents forment un voile mince (d'où la notation $\frac{Fz}{My}$, 2 m d'épaisseur maximum) de vase brune limoneuse et de tourbe récente (4800 BP (*) à l'actuel) exploitée activement jusqu'en 1914, englobant des troncs d'arbres parfois debout et par endroit couchés et enchevêtrés. La cuvette de Brière cache en effet un sous-sol tourmenté sous l'apparente uniformité de surface. Des vallées (cote -12 m entre la Chaussée-Neuve et Saint-Joachim, cote -27 m à Trignac) appartenant à un réseau de rias anté-tertiaire fossilisé et déblayé à plusieurs reprises, ont été en effet décelées (dépôts éocènes du Bas Bergon et de Saint-Lyphard, feuille La Roche-Bernard). Elles sont colmatées par une tourbe ancienne discontinue, puis, pour l'essentiel, par l'argile bleue flamandaise à Scrobiculaires. Ces dépôts se condensent en épaisseur et passent latéralement à des matériaux grossiers d'origine locale sur les flancs des vallées enfouies et en bordure des « îles » rocheuses de Brière.

Une étude de la région de la butte aux Pierres en Saint-Lyphard (feuille La Roche-Bernard) a bien mis en évidence cette condensation des dépôts et a permis de confirmer que le peuplement néolithique a été perturbé, au moins à deux reprises, par des avancées marines à partir de 4800 BP (voir plus haut).

La situation est comparable dans le traict du Croisic où, toutefois, les dépôts récents sont plus épais (3 à 5 m), de caractère sablo-vaseux, au-dessus de l'argile bleue flamandaise qu'ils ravinent souvent.

D. **Formations dunaires.** Les dunes sont exclusivement littorales. Elles sont formées de sable fin et recouvrent localement (La Baule) des paléosols bruns ou noirs, voire des tourbes (Pen-Bron). Elles sont disposées en fonction de la direction des vents dominants (Ouest, Sud-Ouest) ; si la plupart sont fixées, certaines sont encore alimentées ou sapées suivant les tempêtes et les marées. Les trouvailles de vestiges néolithiques (La Baule, Mindin-Saint-Brévin) semblent indiquer un âge de formation néolithique à sub-actuel (destruction partielle du vieil Escoublac au XVII^e siècle). Il est possible que cet âge soit plus ancien (vestiges moustériens sous les dunes près de Batz-sur-Mer).

L'urbanisation active et la situation privilégiée de ces dunes près des plages entraînent leur dégradation rapide ; la dune de la Grande Falaise de La Turballe à Pen-Bron qui restait à ce jour à peu près préservée est en cours de lotissement (1971).

QUATERNAIRE MARIN

My. **Cordons littoraux flamandais et dépôts flamandais. Sable fin et grossier, graviers.** Certains cordons sont en voie de démantèlement. Ils se situent en moyenne à la cote +3 m et peuvent être attribués à un épisode culminant de la transgression flamandaise (Dunkerquien ?). A l'intérieur du traict du Croisic, on trouve des cordons préservés au bas des coteaux de Guérande et à proximité de la butte (ancienne île) de Saillé. Ils sont fossilisés par le remplissage marécageux récent et de ce fait, assez délicats à délimiter. De plus, ces cordons, assez hétérogènes et plutôt grossiers, passent latéralement à des sables fins puis silteux (par exemple, de Quiniquen à Levery). Il semble que les formations de sable grossier et graviers de la presqu'île du Croisic (plage haute Valentin et pointe de Casse Caillou, baie de la Govelle, baie du Scall) relèvent de la même attribution. On observe à différentes altitudes, toujours inférieures à 20 m, des lambeaux plus ou moins étendus de cordons entre Bonne Source en Pornichet et la

(*) B.P. : expression anglaise, « before present », signifiant littéralement « avant le présent » ; âge donné en années.

pointe de l'Eve.

Les observations faites sur les nombreuses failles de cette région montrent que des phénomènes néotectoniques ont surélevé ce secteur ; les effets s'en sont fait sentir jusqu'à une époque très récente. Géographiquement, ce bombement a atteint son maximum dans le secteur de la pointe de Chémoulin. Il n'est cependant pas exclu que certains de ces cordons puissent être d'âge plus ancien (inter Riss—Würm, inter Würm I—Würm II, par exemple si l'on compare à d'autres régions de Bretagne méridionale).

Il existe des gisements submergés ou recouverts par des formations marécageuses récentes. Ceux-ci ont été révélés par sondages (Pen-Bron, pointe de l'Eve, le Petit Gavy, Saint-Brévin-les-Pins) sous des cordons littoraux ou dépôts estuariens récents, ou découvrent lors des grandes basses mers (Batz-sur-Mer, Tharon), ou encore gisent sous des alluvions récentes dans les grandes dépressions (traict du Croisic, la Grande Brière) d'origine mixte morpho-tectoniques.

Ce sont le plus souvent des argiles bleues consolidées avec des débris végétaux, parfois associées à des tourbes (Pen-Bron, Batz, la Grande Brière), très rarement des débris coquilliers et des sables grossiers cimentés par du calcaire (pointe de l'Eve). Ces dépôts correspondent à des périodes de consolidation en zones basses, vers la cote -3 m par rapport au niveau moyen actuel de la mer, lors de pauses dans la transgression flandrienne. Des gisements complets ou des trouvailles partielles, pour l'essentiel néolithiques (butte aux Preires en Brière sur la feuille voisine La Roche-Bernard, Le Croisic, Batz, Saint-Nazaire, Tharon) montrent la proximité du rivage à cette époque. L'envahissement marin de la Grande Brière s'est produit à plusieurs reprises mais de façon nette au Sub-Boréal (4500 BP env.) où la montée des eaux marines, à partir de l'estuaire de la Loire et de la région de Méan—Donges, a chassé les « néolithiques » et détruit la forêt (mortats). Une nouvelle occupation a eu lieu au Sub-Atlantique. L'occupation du site préhistorique situé plage Valentin près de Batz-sur-Mer est attestée dès le Moustérien ; c'est le plus ancien signalé à ce jour dans la région. L'exploration sous-marine du plateau continental proche permettra peut-être de remonter plus loin dans le temps. Les nombreux sondages faits dans l'estuaire de la Loire ont apporté de nombreux renseignements sur l'histoire quaternaire de la région (palynologie, datations ¹⁴C, sédimentologie). Si l'essentiel du remplissage de la Loire date de la période atlantique à nos jours (8 000 BP env. à 0) en particulier dans la gouitière centrale de la paléo-Loire, des alluvions anciennes sous forme de lambeaux ont été découvertes (elles sont surtout localisées sur la rive sud de l'estuaire, entre Paimbœuf et Mindin, mais il en existe aussi près de Méan). Ces dépôts semblent dater de la fin du Riss et de l'Interstadaire Riss—Würm (Eemien) ; ces sables et argiles jaunes sont recouverts par des blocs souvent énormes attribués au Würm I.

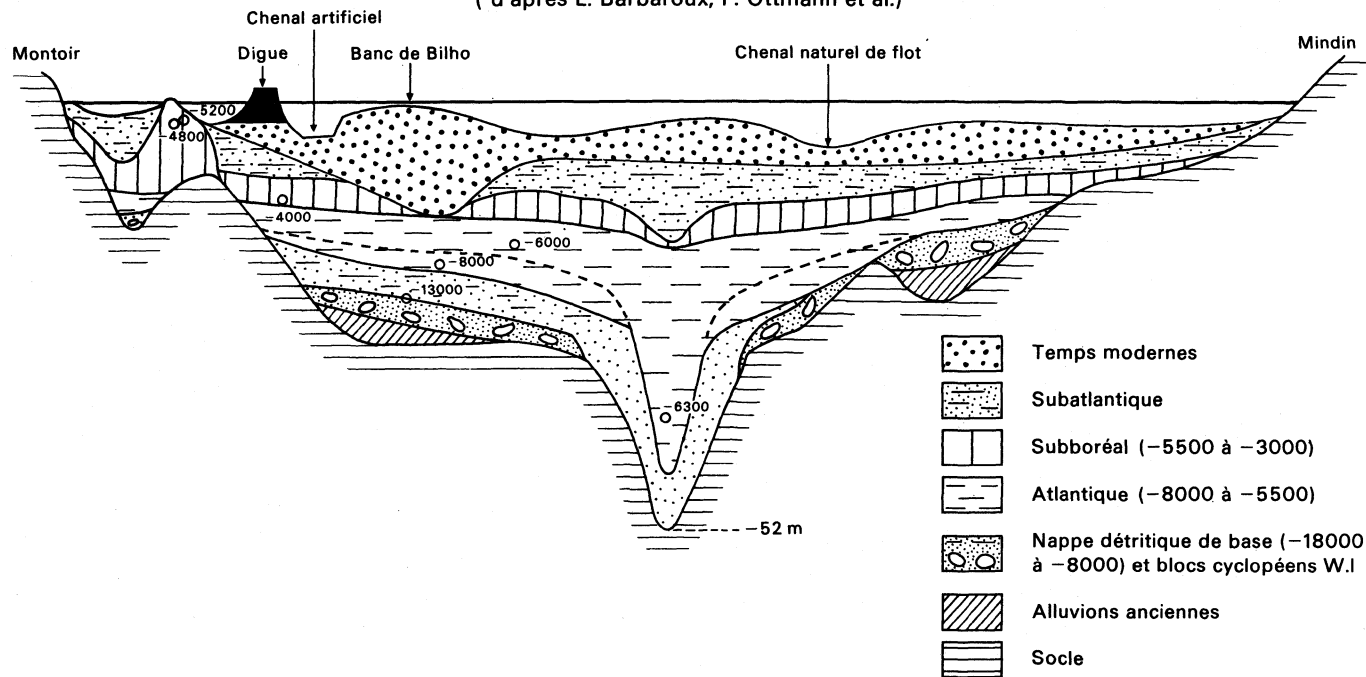
Le remplissage détritique récent (-8 000 à nos jours) a pu être subdivisé (voir coupe schématique, fig. 2).

Dans la région nazairienne, la transgression flandrienne commence il y a -18 000 ans env., à partir de la cote -110 à -120 mètres. On trouve à la base un dépôt fluviatile de galets et de sables très grossiers qui semble correspondre à la fin du Würm III et qui remanie parfois les alluvions anciennes sous-jacentes qui ont, entre temps, été très généralement érodées. A partir de l'Alleröd (vers 11 000 BP), le remplissage s'accroît et ceci jusqu'à la fin de l'Atlantique (5 500 BP) où a lieu une stagnation du niveau marin. Au Sub-Boréal, ce caractère se confirme avec un faible dépôt et des faciès lagunaires. La reprise de la transgression entre 4 500 et 3 600 BP amène l'invasion de la Grande Brière à partir de la région Méan—Montoir.

Le Sub-Atlantique débute par une importante série détritique avec édification d'un cordon littoral qui barre la dépression de Montoir ce qui va isoler les marais de Donges et de Brière qui évoluent vers l'état actuel. A la période romaine et plus tard, lors de l'épisode dunkerquien, des incursions marines se manifestent et, par ailleurs, la déforestation se marque par une érosion d'origine anthropique lors des phases régressives intermédiaires (début de la période historique et petit âge glaciaire).

Fig. 2 – Coupe schématique du remplissage de la Loire en fonction de l'âge des terrains (datations ^{14}C)

(d'après L. Barbaroux, F. Ottmann et al.)



Mz. Cordon littoral actuel : sable, sable grossier et graviers, galets. La nature granulométrique de ce cordon dépend des conditions hydrodynamiques locales. Une partie importante du matériel résulte probablement de la reprise d'édifices plus anciens. Les caractères morphologiques sont très variables. Les flèches de La Turballe—Pen-Bron et de La Baule tendent à former de part et d'autre de la presqu'île du Croisic un tombolo double, la flèche de Pen-Bron étant formée d'un matériel plus grossier avec un talus de déferlement abrupt de par son exposition aux tempêtes d'Ouest. La flèche de La Baule, au fond d'une baie abritée, est formée de sables fins et l'estran est de pente douce. Il existe un granoclassement latéral depuis Pornichet (sable plus grossier) vers Le Pouliguen (sable fin et silts). Ce tombolo est incomplet de par l'existence du traict du Croisic communiquant avec la mer à Pen-Bron par une passe étroite à courants de marée très violents (sables grossiers et roches) ; de même au Pouliguen, la flèche de La Baule est interrompue par un petit cours d'eau mais les phénomènes hydrodynamiques y sont plus faibles.

Les autres cordons littoraux actuels sont beaucoup moins importants en étendue. Il s'agit de cordons de plage (Sainte-Marguerite, Saint-Marc, Tharon) avec sables assez grossiers et graviers, ou de plages de sable fin silteux (rade de Saint-Nazaire, Saint-Brévin) où il est souvent difficile de marquer la limite avec les formations dunaires.

(X). **Dépôts anthropiques.** Accumulations artificielles localisées (décombres, produits de démolition). Seuls les dépôts de quelque importance ont été figurés ; il s'agit de blocs de granite et de tuffeau de Touraine, immergés dans l'estuaire de la Loire, immédiatement après la dernière guerre. Ils proviennent de destructions occasionnées par les bombardements de Saint-Nazaire. Nous n'avons pas figuré les talus de voies ferrées, les déblais de carrière et les remblais routiers, au demeurant de faible extension. Signalons cependant le remblai de La Baule construit sur le cordon littoral sub-actuel.

FORMATIONS MEUBLES (ESTUAIRE ET PLATEAU CONTINENTAL)

La ventilation granulométrique est le critère principal retenu dans la représentation de ces formations. Les fractions principales sont : blocs, galets, cailloutis (supérieurs à 20 mm), sables et graviers (de 20 mm à 0,063 mm), avec graviers (20 à 2 mm), sables grossiers et moyens (2 à 0,5 mm), sables fins (0,5 à 0,063 mm), lutites (inférieures à 0,063 mm).

Les fonds rocheux ont été distingués à l'aide de teintes adoucies par rapport au figuré des formations homologues terrestres.

Morphologie et description sommaire

L'estuaire de la Loire s'élargit en trapèze dont la base étroite se localise au seuil morphologique de Saint-Nazaire—Mindin. La permanence en est attestée par le franchissement en gorge étroite (env. —55 m) de la paléo-Loire (voir schéma, fig. 2). La partie centrale surtout et la bordure orientale de l'estuaire sont caractérisées par des bancs sableux souvent ancrés sur des îlots rocheux découvrant localement à marée basse (banc de Mindin, Morées, banc des Morées, le Vert, le Jardinnet, le Grand Rang, banc du Pointeau). Le delta sous-marin de la Loire s'organise dans cette région et s'étend en un front silto-sableux entre les Charpentiers, le Jardinnet et le Châtelier. Le chenal de jusant, dit des Charpentiers, en grande partie artificiel, est en cours de rectification ; c'est le chenal de navigation. Le chenal de flot correspond approximativement à l'emplacement, en profondeur, du paléo-lit de la Loire pré-flandrienne ; il se situe entre la Truie et le banc du Pointeau et passe à l'Est du banc de Mindin près de la côte orientale de l'estuaire ; il est actuellement très envasé. Une accrétion de lutite se produit dans les anses abritées de la côte occidentale (Bonne Anse, Ville-ès-Martin, Saint-Nazaire—Méan).

L'effet des apports de la Loire et des courants de marées conduit à cette répartition globale qui, dans le détail, peut être modifiée d'une part par l'effet des rectifications et

travaux de dragages constants dans ce domaine, et d'autre part par l'effet des crues. Le bouchon vaseux qui caractérise la Loire estuarienne (études de L. Berthois, puis de B. Gallenne) se déplace du Pellerin (feuille Nantes) à Mindin ; il peut parfois être expulsé au moins partiellement dans l'estuaire externe lors des crues et atteindre les Charpentiers, se délestant d'une partie de sa charge. Celle-ci est en partie ventilée essentiellement en direction W.NW le long du chenal du Nord, en raison des courants littoraux, des courants dus au vent et à la diffraction de la houle. Une partie des matériaux, suivant le type de temps, peut cependant se diriger en direction sud-est vers la baie de Bourgneuf et s'y piéger.

Les sédiments sont essentiellement de type estuarien et ligérien. Les sables roux coquilliers du large apparaissent cependant près de Chémoulin—pointe de l'Eve et du banc de la Barre ; l'influence estuarienne est donc dissymétrique s'étendant plus au Sud dans la partie orientale à l'abri du banc du Châtelier, alors que l'influence marine pénètre plus avant par le chenal du Sud et le chenal des Charpentiers le long de la côte ouest.

La baie du Pouliguen forme un autre secteur morphologique bien délimité continuant *pro parte* la presqu'île croisicaise. De caractère abrité, annexe des platiers rocheux [(M) et ($\xi\gamma^{1-2}$)], la baie s'ouvre au niveau de la pointe de Penchâteau par une passe assez étroite (500 m env. de large pour les fonds de 5 m).

La presqu'île du Croisic et les affleurements lutétiens de l'ensemble Four—Banche—Lambarde délimitent un panneau effondré en pente douce vers l'Ouest-Nord-Ouest : le chenal du Nord, de structure comparable, mais submergée, au traict du Croisic. Barré par des cordons de galets immergés, plus ou moins démantelés et alignés *grosso modo* NE—SW sur sa bordure orientale entre Banche et Lambarde, le chenal du Nord se termine à l'Ouest vers le plateau du Four (en partie émergé) par une remontée, assez brutale, du socle et du Lutétien au pied de laquelle s'accumulent les sédiments fins. Il est remarquable de noter que ces unités morphologiques sont liées aux systèmes de failles régionaux qui en dessinent les linéaments. En particulier, la Loire estuarienne se place exactement sur l'axe d'un accident important de direction SW—NE.

Description des fonds

Fonds rocheux. De nombreux carottages, dragages et prélèvements ponctuels sur des îlots découvrant lors de grandes marées ont permis de préciser la nature des fonds. Nous signalerons les découvertes d'argiles vertes flamandaises en bordure du chenal de Bonne Anse, des blocs lutétiens épars aux Charpentiers, des amphibolites et calcaires cristallins près des Morées et des calcaires cristallins de la nouvelle darse de Saint-Nazaire, qui ont apporté des renseignements précieux sur la structure et l'histoire géologique de la région.

Par ailleurs, le Lutétien de La Banche et de la Lambarde, très largement affleurant, est difficile d'accès et souvent recouvert, tout comme le cristallin de la grande côte, par des placages peu épais de galets, graviers ou sable, voire de lutites qui rendent une délimitation précise délicate. La corrosion, les perforations de lithophages et probablement la karstification des calcaires, calcaires dolomitiques et calcaires gréseux lutétiens, sont également à signaler.

Galets. A l'exception du banc du Châtelier qui présente un affleurement important de galets dont l'épaisseur, sans doute faible, est difficile à évaluer, les galets sont le plus souvent mêlés de graviers et de sables.

En bordure méridionale de la Lambarde et de La Banche, des cordons importants de galets et graviers, essentiellement calcaires et dolomitiques, s'appuient sur l'ossature lutétienne. Des cordons anciens de galets et graviers sont également accumulés dans le chenal du Nord, alignés NE-SW, dans le quadrilatère Banche—Lambarde—Evens—Penchâteau. Ces galets sont souvent bordés de sédiments plus ou moins grossiers, hétérométriques, mêlés de débris coquilliers souvent de grande taille. Les galets sont de nature variée, en général d'origine locale. Les éléments cristallophylliens et granitiques prédominent près des côtes alors que, sur les abords de la Lambarde et de la Banche, les éléments sont surtout calcaires.

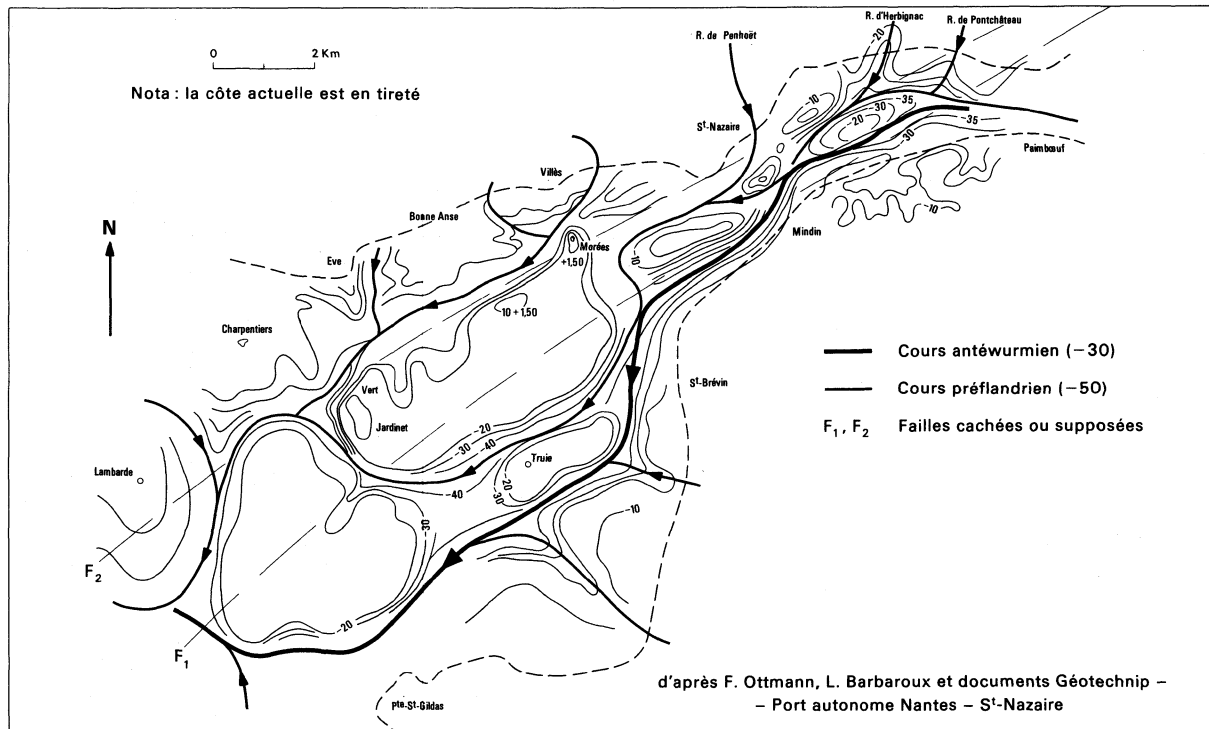


Fig. 3 - Carte du Substratum rocheux de l'estuaire de la Loire

Graviers, sables grossiers et moyens. Ils prédominent, de loin, dans les affleurements. La patine ferrugineuse et la présence de débris coquilliers des sables marins permettent de les différencier nettement des sables estuariens gris et silto-micacés. Ces sables bordent les côtes rocheuses du domaine maritime ; ils s'étendent autour des affleurements lutétiens et, souvent mêlés aux graviers, les débordent nettement. La majeure partie du chenal du Nord correspond à ces faciès hétérométriques et mal classés où dominent quartz et éléments cristallins du socle de la pointe de l'Eve à la Lambarde ; ils sont de mieux en mieux classés et s'affinent dans le secteur de La Banche.

Dans l'estuaire, un banc central très important de sables grossiers graveleux s'étend depuis le banc de Mindin jusqu'au Sud des Jardinets avec une largeur maximum vers le banc des Morées ; il est strictement encadré par les chenaux de flot et de jusant. Le banc du Pointeau et la région de Saint-Brévin, autrefois sablo-graveleux, présentent une nette tendance à l'envasement.

Sables fins. Les sables fins sont souvent associés à des lutites. C'est le cas sur les bordures de l'estuaire et singulièrement dans la moitié orientale. Nous avons signalé également l'accumulation de sable fin silteux au débouché du delta sous-marin de la Loire, entre le banc de la Barre et le banc du Châtelier. Ces dépôts sont en général situés dans des zones abritées où le courant cesse de se faire sentir (traict du Croisic, baie du Pouliguen) ou sont liés à des zones d'équilibre (plus ou moins précaires) entre forces opposées (poussées fluviales de la Loire, houle diffractée, courants de marées). Ceci est le cas de la zone estuarienne, voire de zones plus profondes, où l'effet des courants s'amortit (Sud de la Lambarde). Enfin, un transport sélectif semble en conditionner le tri et l'accumulation vers l'Ouest dans le chenal du Nord où ces sables se disposent en rides à grande période et faible amplitude. Devant la côte de la Grande Falaise en Pen-Bron, les sables fins forment une bande assez étroite, entre pélites du large et sables grossiers littoraux avec rupture de pente nette. L'orientation plein ouest de cette partie de côte explique la haute sélectivité du tri granulométrique lié à la houle et singulièrement lors des tempêtes.

Lutites. Nous retrouvons dans la disposition des lutites les régions morphologiques délimitées plus haut. Dans l'estuaire, en accrétion sur la côte occidentale (vasières découvrantes et anses abritées) et en dépôts dans la région du chenal de flot (de la Truie à Mindin), à l'abri de l'avancée de la pointe Saint-Gildas (ossature métamorphique et gros galets) de Tharon au banc du Châtelier. Le chenal des Charpentiers est lui aussi partiellement envasé et le secteur le Châtelier—la Lambarde, aux limites extérieures du delta sous-marin de la Loire représente une zone de délestage du bouchon vaseux lors des crues. Ce matériel transite et se trouve piégé au Sud de la Lambarde (feuille Noirmoutier) dans la fosse des Bouquets (ou du Croisic) et du Grand Trou qui à -65 m environ représente l'ancienne vallée de la Loire pré-flandrienne remblayée en partie seulement. Le phénomène d'accrétion joue sur les bordures internes du traict du Croisic. A l'Ouest de la pointe du Croisic (feuille Ile-Hoedic) et au Sud de la Grande Côte s'accumulent les pélites au pied d'une ossature rocheuse (Lutézien du Four, métamorphique de la Basse Hikéric et de la pointe du Croisic) qui représentent le terme du cheminement latéral de bouffées argileuses sortant de l'estuaire lors des crues et transitant le long du chenal du Nord.

Caractéristiques physiques des dépôts. Les sables du large sont *roux*, avec patine d'oxyde de fer, et gris dans le cas d'apports ligériens plus récents. Nous avons pu distinguer au microscope électronique à balayage les apports sableux ligériens, les stocks marins et les faciès mixtes. D'une façon sommaire, les sables marins sont ornés en surface de « V » ; les sables fluviatiles sont localement recouverts d'une pellicule de silice néogénétique où sont souvent piégées des Diatomées, et, sur d'autres parties de leur surface, rongés par des caries. Quelques courbes granulométriques *fuseaux* donnent des indications sur les paramètres sédimentologiques des dépôts.

Une étude statistique de quelques caractéristiques géotechniques des dépôts vaseux (teneur en eau : w ; densité humide : γ ; cohésion : C_u) contenant moins de 20 % de

sable a donné les résultats suivants, ventilés par milieux.

Paramètres	Milieu								
	estuarien			littoral			profond (pour comparaison)		
	w (%)	γ	Cu (bar)	w (%)	γ	Cu (bar)	w (%)	γ	Cu (bar)
M	175	2,25	0,750	155	2,10	0,275	120	2,25	0,560
m	25	1,20	0,045	22	1,05	0,005	15	1,10	0,005
Mo	124	1,48	0,152	88	1,49	0,065	46	1,62	0,080
Md	98	1,45	0,149	65	1,42	0,052	40	1,55	0,070
X	110	1,50	0,195	87	1,49	0,079	41	1,64	0,091

M = maxima ; m = minima ; Mo = mode principal ; Md = médiane ; X = moyenne

Le fait important à signaler est la cohésion souvent exceptionnelle des vases estuariennes, avec une forte teneur en eau. Le milieu et les conditions de dépôts ont un rôle capital, aboutissant à l'édification de structures particulièrement solides en milieu estuarien ainsi que nous l'avons montré par des études au microscope électronique à balayage. Ces structures résistantes subsistent pratiquement seules dans les dépôts d'estuaire en raison du régime hydrodynamique de ce dernier.

La nature minéralogique des fractions lourdes des sables (S. Duplaix) est ainsi constituée : après les alluvions anciennes où dominent les apports locaux, les alluvions récentes de base reprennent les précédentes (grenat $\geq 5\%$, amphibole et pyroxène monoclinique $< 8,5\%$, présence constante de zircon et d'anatase), puis la majeure partie du remplissage récent (grenat moins abondant, absence de zircon) est caractérisée par les apports ligériens.

La nature minéralogique des argiles est qualitativement assez constante et très polymorphe : illite, montmorillonite, kaolinite, chlorite et interstratifiés (1M, MC) avec halloysite et pyrophyllite épisodiques. Les sédiments récents et actuels sont caractérisés par un tri latéral et longitudinal. Latéralement, il se produit une augmentation de la chlorite et de la montmorillonite sur les berges. Longitudinalement, le milieu fluvial est homogène (illite, montmorillonite) ; le milieu estuarien interne (amont de Saint-Nazaire) montre un dépôt précoce d'illite, la montmorillonite restant plus longtemps en suspension. Le rapport I/M est à cet égard significatif, son évolution est liée au déplacement du bouchon vaseux et permet ainsi de suivre les fluctuations de ce dernier dans le passé. Des apports de kaolinite, souvent importants, à partir des formations cénozoïques locales, sont très nets au large et sur le littoral. L'héritage et le tri granulométrique sont les phénomènes dominants qui œuvrent dans la répartition des phyllites. Dans les sondages, de la base au sommet, il se produit une diminution de la chlorite, une augmentation de montmorillonite et de kaolinite, ce qui traduit un réchauffement progressif, une augmentation de l'influence marine et la reprise fréquente des stocks préalablement déposés.

Faune associée aux dépôts. Les fonds variés, la turbidité des milieux, se traduisent par une endofaune riche : le benthos est abondant dans les fonds de lutites (Annélides, Crustacés) ; ainsi les tubes d'Annélides sont extrêmement nombreux dans la région du Croisic. Les fonds sablo-graveleux sont accompagnés de coquilles épaisses (Lamelibranches, Gastéropodes) ; on notera l'abondance remarquable de *Spisula solida* dans

la région Charpentiers—La Banche et de la Grande Falaise au Nord du Croisic.

La microfaune présente plusieurs associations. La principale caractérise les vases sableuses du domaine estuarien à *Protelphidium paraliium* Tintant dominant, *Ammonia tepida* Cushman secondaire, qui supportent des variations de salinité importantes, disparaissent cependant lors d'une trop forte dessalure ; elle se développe en aval de Saint-Nazaire lorsqu'il y a équilibre entre apports marins et fluviaux. Une seconde association, lorsque l'influence marine est plus marquée, se manifeste par l'inversion du rapport *A. tepida*/*P. paraliium* et s'accompagne d'une diversification : *Elphidium*, *Ammonia beccarii* L., *Cibicides advenus* d'Orb., *Bolivina variabilis* Williamson. Une troisième association plus diversifiée encore se manifeste à l'embouchure de l'estuaire. Aux espèces déjà citées s'associe la faune du plateau continental proche avec, en particulier : *Angulogerina angulosa*, *Gavelinopsis* sp., *Planorbulina mediterraneensis*.

CONCLUSIONS

La région, malgré les affleurements sédimentaires peu nombreux sur la présente feuille, a une longue histoire géologique. Celle-ci débute avec certitude au Cénomanién, mais sans doute le façonnement des paléo-vallées est antérieur. Les invasions marines successives ont été conditionnées dans leur cheminement par ce réseau hydrographique ancien alternativement remblayé et érodé.

Le Cénomanién remanié est présent au pied du Sillon de Bretagne (feuille Savenay). L'Yprésien continental à Savenay est marin dans la région du Four, le Lutétien marin de la Lambarde passe à des faciès mixtes à Campbon (feuille Savenay). On connaît dans les régions voisines des affleurements miocènes, oligocènes et pliocènes (feuilles Paimbœuf et Savenay). Un système de rias et de dépressions a donc été, à plusieurs reprises, réutilisé au cours du Tertiaire et l'importance des alternances biostases - rhéxistases (Ehrt) est particulièrement sensible.

Au Quaternaire, ces phénomènes se sont poursuivis comme nous l'avons vu. Les formations qui se sont conservées ne nous permettent pas de remonter au-delà de l'Inter Riss—Würm. La période wurmienne est mieux connue et singulièrement les étapes de la transgression flamandienne ont pu être suivies. La période sub-boréale marque une date importante avec l'invasion marine des dépressions intérieures (Brière, traict du Croisic).

Cette région, depuis la fin du Secondaire au moins, a été disputée entre le domaine continental et le domaine marin ; les variations eustatiques ont été prépondérantes mais la tectonique non négligeable l'a modifiée, à la suite des cassures cénozoïques qui ont abaissé la région en marches successives vers l'Ouest ; des réajustements se sont produits jusqu'à une période récente.

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

HYDROGÉOLOGIE

Les ressources en eau souterraine du territoire couvert par la feuille Saint-Nazaire sont très faibles au regard des besoins de l'alimentation des importantes agglomérations de Saint-Nazaire et de la Côte d'Amour. Il n'en existe pas moins des aquifères dont certains ont déjà fait l'objet d'exploitations. On peut distinguer :

- la granite de Guérande, dont la zone supérieure, arénisée, peut localement fournir l'eau nécessaire à des alimentations privées. Selon certains indices les arènes se retrouveraient en profondeur sous le remplissage vaseux des traicts du Croisic et de la Brière, contenant de l'eau en charge ;

- *les sables des cordons flamandais et des dunes côtières*. Exploités pour l'alimentation du syndicat de Batz—le Croisic à Livery (Nord de Saillé) et entre Batz et Le Croisic, ils sont menacés par le développement de l'urbanisation : les dunes de la Grande Falaise, au Nord du Croisic, sont en lotissement depuis 1971.

RESSOURCES MINÉRALES
par J. Guigues et A. Bambier

Gîtes métallifères

Antimoine. Un filon de quartz à stibine a fait l'objet d'une petite recherche vers 1890 sur la côte de Batz, exactement dans la partie orientale de la baie du Grand Mathieu. Il s'agit d'un filon N 65 gr E, penté 75 gr SE, puissant de 0,25 à 0,35 m, encaissé dans le granite à deux micas (muscovite dominante), chloritisé sur 1 m environ à partir des épontes. Le minerai forme des lames parfois assez longues (jusqu'à 10 cm d'après A. Lacroix) noyées dans un quartz compact d'aspect calcédonieux, assez souvent noirâtre. Outre la stibine, on peut récolter, en d'autres points du filon, pyrite ou marcassite, mispickel. La stibine peut être complètement dissoute à l'affleurement ou recouverte d'un enduit de kermésite ou de stibiconite.

Le filon peut être suivi sur 10 m environ à partir d'un mur édifié près de la route D 45, jusqu'à la plage de sables et galets. Au toit, on distingue une pegmatite parallèle au filon et d'autres filonnets quartzeux apparemment stériles.

Plomb. De la galène argentifère associée à la pyrite a fait l'objet d'une recherche en galerie (3 m) en 1889 dans une cavité de la falaise granitique bordant la plage, à 500 m au S.SW de Kerden. Le filon de quartz est dirigé NE—SW, dans une zone faillée avec remplissage argileux.

Béryllium. Du béryl a été signalé par Baret (1898) entre la pointe du Croisic et la Pierre Longue dans une pegmatite à tourmaline et grenat. Les prismes pouvaient atteindre 15 à 18 cm de longueur. Ce minéral a pu passer inaperçu dans beaucoup d'autres pegmatites à apatite, tourmaline et grenat, telles celles que l'on voit fréquemment en filons ou petits amas sur le littoral de la pointe de Penchâteau à la rade du Croisic, surtout près de Port Lin et de la pointe du Croisic. La carrière de Clis à l'W.NW de Guérande est célèbre pour ses pegmatites à grandes tourmalines noires (École des Mines) ; il ne semble pas que du béryl y ait été signalé.

Uranium. A 1 km au Nord-Ouest du Guérande, le Commissariat à l'énergie atomique a découvert l'indice de Tesson. A 900 m au Nord, dans le cadre de la feuille La Roche-Bernard, se trouvent les indices de La Garenne. Ces minéralisations uranifères semblent alignées sur la même structure méridienne. Les concentrations : pechblende, produits jaunes et orangés se rencontrent près de lambeaux micaschisteux encaissés dans le granite à deux micas de Guérande.

Autres substances

Argile kaolinique. Un dépôt situé à la baie de la Faïencerie (pointe du Croisic) servait à la fabrication des célèbres faïences de cette localité.

Lignite et tourbe. Un dépôt littoral a été signalé à la baie de la Barrière, à 1,500 km à l'Ouest de Batz.

La Brière renferme un niveau de tourbe quasi continu d'épaisseur variable, pouvant atteindre 2,50 mètres. Des sondages ont traversé la tourbe au N,NE de Saint-André-des-Eaux (la Chaussée Neuve, en limite de carte). La couche repose sur des argiles vertes salées (3,98 g ClNa par kg). Les cendres de la tourbe (teneur 15 %) sont également riches en sels minéraux, sulfates Na, K (22 %), chlorure Na (5 %), oxydes Ca, Fe, Mg (3 %).

Marais salants. Le marais du Croisic produit de 15 000 à 35 000 t de sel par an. Ce maximum a été atteint en 1961 où l'ensoleillement avait été exceptionnel.

Matériaux de construction et d'empierrement. Les carrières ouvertes dans le granite ou le gneiss sont souvent abandonnées. Elles se situent aux environs de Batz, Clis, Escoublac, Saint-Nazaire.

Remarques. Il ne semble pas justifié de mentionner les sables titanifères de Ville-ès-Martin, Saint-Brévin et Saint-Michel-Chef-Chef qui ne sont guère plus abondants dans ces localités qu'ailleurs, de même que le graphite du cipolin de Ville-ès-Martin, des quartzites de Saint-André-des-Eaux et de la côte du Croisic (Baret).

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

COUPES SOMMAIRES DES SONDAGES

N° d'archivage au S.G.N.	Profondeur (en m)	Formations
479-2-1	0 – 14,05 14,05 – 26,90 26,90 – 28,40	Sable dunaire Quaternaire ou socle altéré Socle
479-4-1	0 – 18,55 18,55 – 19,35	Alluvions Socle
479-4-2	0 – 39 39 – 40	Alluvions Socle
479-4-3	0 – 30,20 30,20 – 31,30	Alluvions Socle
479-4-4	0 – 39,25 39,25 – 40,25	Alluvions Socle
479-4-5	0 – 13,40 13,40 – 14,35	Alluvions Socle
479-4-6	0 – 45,75 à 45,75	Alluvions Socle probable
479-4-7	0 – 12,35 12,35 – 14,45	Alluvions Socle
479-4-8	0 – 19,90 à 19,90	Imprécis : dépôt mou (alluvions tout ou partie) Socle
479-4-9	0 – 20,80 à 20,80	Imprécis : dépôt mou (alluvions tout ou partie) Socle
479-4-10	0 – 18,30 18,30 – 20,30	Alluvions Socle
479-4-13	0 – 12,60 12,60 – 20,00	Alluvions Socle
479-4-16	0 – 5,10 5,10 – 28,00	Alluvions Socle
479-4-17	0 – 34,25 à 34,25	Alluvions Socle
479-4-26 et 101(*)	0 – 18 env. 18 – 47 47 – 49	Alluvions Socle décomposé Socle sain

(*) Coupe du sondage 479-4-101 qui éclaire celle du 479-4-26

Remarque – La cote NGF du toit du substratum sous les alluvions ou le recouvrement quaternaire est portée sur la carte pour chacun des sondages.

BIBLIOGRAPHIE

Socle métamorphique et cristallin

- AUDREN Cl. (1971) — Étude pétrographique et structurale des schistes cristallins de l'estuaire de la Vilaine. Rennes. Thèse 3ème cycle.
- BARROIS Ch. (1896) — Légende de la feuille de Saint-Nazaire. *Ann. Soc. géol. Nord*, XXIV, p. 137-160.
- BARROIS Ch. (1897) — Légende de la feuille de Quiberon. *Ann. Soc. géol. Nord*, XXVI, p. 17-33.
- COGNÉ J. (1957) — Schistes cristallins et granites en Bretagne méridionale : le Domaine de l'Anticlinal de Cornouaille. *Mém. Expl. Carte géol. Fr.*, 1960, 382 p.
- COGNÉ J. (1965) — Feuille Quiberon - Belle-Ile à 1/80 000 (2ème éd.). Notice explicative. *Service Carte géol. Fr.*, 16 p.
- COGNÉ J. (1965) — Le gneiss oëillé de Languidou (Sud-Finistère) : un jalon nouveau de la base du Briovérien supérieur dans les schistes cristallins de Bretagne méridionale. *C.R. Acad. Sc. Paris*, D, 261, p. 3849-3852.
- COGNÉ J. (1966) — Une nappe cadomienne de style pennique : la série cristallophyllienne de Champtoceaux en bordure méridionale du Synclinal d'Ancenis. *Bull. Serv. Carte géol. Als. Lorr.*, 19, 2, p. 107-136.
- COGNÉ J. (1973) — Le Massif Armoricaïn. in J. DEBELMAS, Géologie de la France, 1974, Doin éd., Paris, tome I, p. 105-161.
- HASSENFORDER B. (1970) — Étude pétrographique et structurale des formations cristallines et cristallophylliennes de la Basse-Loire (feuille de Saint-Nazaire à 1/50 000). Strasbourg, thèse 3ème cycle.
- VIDAL Ph., COGNÉ J., BONHOMME M. (1970) — Premiers résultats géochronologiques concernant l'évolution structurale en Bretagne méridionale : la nappe cristallophyllienne de Champtoceaux dans le cadre des orogènes cadomien et hercynien. *C.R. Acad. Sc. Paris*, D, 271, p. 1737-1740.
- VIDAL Ph. (1973) — Premières données géochronologiques sur les granites hercyniens du Sud du Massif Armoricaïn. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 7, XV, p. 239-245.

Terrains sédimentaires et formations superficielles. Travaux consultés

ABRARD R., ALIX Y., AZÉMA C., BALLADE P., BARBAROUX L., BARBIER M., BARROIS C., BELLANCOURT G., BERTHOIS L., BLONDEAU A., BOURCART J., BOUYASSE P., B.R.G.M., DURAND S., ESTÉOULE-CHOUX J., FARA A., FERRONNIÈRE G., GLEMAREC M., GUILCHER A., GONI J., HORN R., KERVILER R., LE CALVEZ Y., LIMASSET J.C., MARGEREL J.P., OTTMANN F., PARENT C., PLANCHAIS N., PORT AUTONOME NANTES-SAINTE-NAZAIRE, TERS M., VANNEY J.R., VISET L.

Carte géologique de la France à 1/80 000

Feuille Quiberon-Belle Ile (103)

1ère édition (1897), par Ch. Barrois

2ème édition (1965), par J. Cogné, S. Durand, A. Guilcher et P.R. Giot.

Feuille *Saint-Nazaire* (104)
1ère édition (1897), par Ch. Barrois
2ème édition (1949), par Ch. Barrois.

Feuille *Nantes—Ile du Pilier* (117)
1ère édition (1926), par L. Bureau et G. Ferronnière
2ème édition (1968), par M. Ters et F. Verger.

Carte sédimentologique sous-marine des côtes de France à 1/100 000

Feuille *Saint-Nazaire* (D-12) (1968), par J.-R. Vanney.

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

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

DOCUMENTS 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. Bretagne—Pays de la Loire, rue Henri Picherit, 44 000 - Nantes, soit au B.R.G.M., 17-19 rue de la Croix-Nivert, 75015 - Paris.

AUTEURS

Cette notice a été rédigée par :

- J. COGNÉ et B. HASSENDORFER : socle métamorphique et cristallin ;
- L. BARBAROUX : terrains sédimentaires et formations superficielles ;
- S.G.R. Bretagne—Pays de la Loire : hydrogéologie ;
- J. GUIGUES et A. BAMBIER : gîtes minéraux.

Note ajoutée en cours d'impression. La référence classique au cycle cadomien, pour désigner les étapes anté-hercyniennes de l'évolution structurale sud-armoricaine, repose sur l'existence et l'importance de cette orogénèse dans les parties nord- et centre-armoricaines, sur la situation infra-paléozoïque et l'âge (540 M.A.) de la nappe cristallophyllienne de Champtoceaux plus au Sud, sur l'inexistence enfin de véritables structures « calédoniennes » dans les régions sédimentaires primaires voisines depuis l'Ordovicien jusqu'au milieu du Dévonien.

Cependant, les données géochronologiques actuelles (J.J. Peucat et Ph. Vidal, *travaux en cours*) semblent indiquer trois périodes pour l'évolution métamorphique sud-armoricaine au Sud du hiatus géosynclinal de Saint-Georges-sur-Loire (et ses prolongements occidentaux) : période fini-cadomienne à infra-paléozoïque (Cambrien inférieur), tardi-calédonienne à pré-hercynienne (Siluro-Dévonien), enfin hercynienne *sensu stricto* (Post-Dinantien).