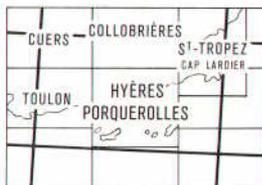


1065-1080



HYÈRES- -PORQUEROLLES

La carte géologique à 1/50 000
HYÈRES-PORQUEROLLES est recouverte par la coupure
TOULON (N° 248)
de la carte géologique de la France à 1/80 000



CARTE
GÉOLOGIQUE
DE LA FRANCE
A 1/50 000

BUREAU DE
RECHERCHES
GÉOLOGIQUES
ET MINIÈRES

HYÈRES- -PORQUEROLLES

XXXIV-46-47

2^e ÉDITION

*Côte occidentale
des Maures*

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

	page
INTRODUCTION	2
DESCRIPTION DES TERRAINS	2
<i>FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES SUR LE CONTINENT</i>	2
<i>FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES DES ILES D'HYÈRES</i>	5
<i>TERRAINS ÉRUPTIFS</i>	8
<i>FORMATIONS SÉDIMENTAIRES</i>	8
<i>NATURE DES FONDS MARINS</i>	10
REMARQUES GÉOLOGIQUES	13
<i>STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS CRISTALLOPHYLLIENNES</i>	13
<i>SÉDIMENTOLOGIE DES SÉRIES MÉTAMORPHISÉES</i>	13
<i>MÉTAMORPHISME HERCYNIE</i>	14
<i>LES GNEISS DE BORMES</i>	14
<i>STRUCTURE</i>	15
<i>MORPHOLOGIE</i>	15
RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS	16
<i>HYDROGÉOLOGIE</i>	16
<i>MÉTALLOGÉNIE ET SUBSTANCES MINÉRALES</i>	17
DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE	18
<i>DESCRIPTION DE SITES CLASSIQUES ET D'ITINÉRAIRES</i>	18
<i>SONDAGES</i>	18
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	19
<i>DOCUMENTS CONSULTABLES</i>	21
AUTEURS	21

INTRODUCTION

Sur le territoire couvert par la feuille à 1/50 000 Hyères-Porquerolles n'affleurent guère que des terrains cristallophylliens appartenant au massif des Maures. Il faut seulement mentionner en plus, outre un peu de Permien, le petit lambeau de Mésozoïque (Trias-Rhétien-Hettangien) qui constitue la partie orientale du mont des Oiseaux, au Sud d'Hyères. Ces formations cristallophylliennes sont la continuation vers le Sud-Ouest de celles qui affleurent dans le cadre des feuilles Collobrières et Saint-Tropez—Cap-Lardier : cet ensemble forme un tout dont les parties s'expliquent les unes par les autres.

Un réseau hydrographique assez hétérogène draine ces formations. Il est en grande partie colmaté par d'importantes formations quaternaires qui s'étendent largement autour de la rade d'Hyères.

DESCRIPTION DES TERRAINS

FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES SUR LE CONTINENT

Les gneiss de Bormes

ζM. **Gneiss migmatitiques de Bormes.** Gneiss migmatitiques embréchitiques plus ou moins laminés, ils forment une bande large de 4 km en moyenne, orientée N.NE—S.SW au Nord de la faille Bormes—Pramousquier. Au Sud de celle-ci, il en subsiste des témoins orientés NW—SE dans la rade au Sud du Lavandou. Cette bande est divisée en amygdales par des septa de micaschistes.

Des gneiss attribuables à la même formation affleurent dans l'Ouest de l'île du Levant.

Ce sont des gneiss avec yeux de microcline, assez régulièrement lités et présentant des alternances de bancs plus quartzo-feldspathiques et de niveaux plus micacés. Localement, ils peuvent prendre une allure granitoïde. Cependant ils se distinguent nettement du petit pointement granitique de Barral, qui est d'origine batholitique et les traverse. Sa présence laisse penser qu'en profondeur doit exister une masse granitique plus importante analogue au granite du Plan de la Tour. Ces gneiss sont exploités à l'Est de Bormes (Maurer).

ζP. **Gneiss de Bormes à grands phénoblastes et enclaves.** Sur la bordure orientale du massif existe une bande qui se distingue par une tendance des yeux à devenir idiomorphes et par la présence d'enclaves surmicacées. Des enclaves analogues existaient déjà plus à l'Est dans les gneiss de Notre-Dame-de-Miramas (feuille Saint-Tropez).

Le long de leur bordure occidentale, les gneiss sont en concordance avec la série métamorphique qui les surmonte, tandis que dans leur partie orientale, le front de migmatisation recoupe en discordance la série stratifiée du synclinal de la Verne (région du Révérencier).

ζδ. **Gneiss amphiboliques.** La migmatisation affecte aussi les amphibolites qui, pour cette raison, ont été distinguées sous la notation ζδ.

A l'Ouest des gneiss des Bormes

On trouve à l'Ouest des gneiss de Bormes, la suite des formations qui affleurent dans le cadre de la feuille Collobrières. C'est sur celle-ci que leur succession peut être établie grâce à l'existence de structures anticlinales et synclinales qu'il est possible d'analyser. Nous utiliserons donc ici des divisions équivalentes.

ζτ. **Paragneiss en dalles.** La base de la série montre des gneiss à deux micas et tourmaline dont la foliation est régulière et bien marquée : c'est pourquoi ils ont été distingués des embréchites de Bormes qu'ils surmontent vers l'Est. Ces roches sont recherchées pour la construction et l'ornementation, d'où leur exploitation en carrières au Nord-Est de Bormes.

ξsg. **Micaschistes à minéraux : staurotide et grenat.** Dans des micaschistes gris-bleu, fins et graphiteux, se sont développés des grenats almandins et des baguettes de staurotide. Leur épaisseur va en augmentant vers le Sud de la feuille aux dépens des micaschistes ξD.

ξD. **Micaschistes détritiques à faciès de gneiss.** Sur les micaschistes à minéraux et sous les amphibolites δλ (cf. ci-après) se trouvent des micaschistes arkosiques en dalles, à faciès de gneiss. Leur interprétation comme roches détritiques repose sur leur texture et sur la présence de nodules quartzo-feldspathiques considérés comme des galets (cap Bénat). La recristallisation les affecte de plus en plus lorsqu'on se dirige vers le Nord, ce qui explique qu'ils aient été assimilés à des gneiss francs sur la feuille Collobrières (Valucière).

ξ. **Micaschistes stratigraphiquement indifférenciés.** La notation ξ a été utilisée pour définir un faciès, mais sans signification stratigraphique précise : la série, située sous les amphibolites décrites ci-dessous, a été transformée en micaschistes à muscovite, biotite et grenat, par le métamorphisme croissant avec la profondeur ; il n'y a pas de chloritoïde.

δλ. **Amphibolites et leptynites associées.** Les amphibolites sont presque toujours profondément altérées en un sol brun caractéristique. Autrefois ces roches ont été recherchées pour l'empierrement, d'où leur dissémination sur beaucoup de chemins. Elles sont associées à des leptynites en plaquettes, blanches à patine jaune, formées de quartz et de plagioclases acides.

Sur le territoire de la feuille, leur épaisseur diminue du Nord au Sud où elles sont réduites à quelques mètres ou même disparaissent complètement (Nord du cap Bénat). L'origine volcano-sédimentaire de ces formations ne semble pas douteuse.

Leur intérêt fondamental comme repère stratigraphique a conduit à les rechercher avec soin car ce sont elles qui ont permis l'interprétation structurale de l'arc de Bormes. De ce fait leur représentation cartographique pourra paraître un peu exagérée, mais elle est justifiée par les structures qu'elles ont permis de mettre en évidence.

Ces roches contiennent parfois de la calcite et sont associées, à Valcros, à un banc de cipolin.

δλc. **La collobriérite**, constituée par de la magnétite, du grenat, des amphiboles riches en fer (grunérite), est un faciès de condensation des amphibolites que l'on trouve sur le flanc occidental des gneiss de Bormes, dans la région à l'Est de Valcros ainsi qu'à Port-Cros.

Ss. **Phyllades détritiques des Sauvettes (phyllades du Loli pro parte).** Formation faite de bancs métriques grésoschisteux alternant avec des lits schisto-gréseux, elle est d'une grande monotonie et ressemble à un flysch non calcaire de couleur grise. On notera une évolution progressive vers le Sud de ses caractères : elle devient de plus en plus fine et homogène, tandis que les séquences diminuent d'épaisseur pour ne plus mesurer que quelques centimètres au cap Bénat. Les cristaux de chloritoïde y sont abondants et bien développés (S. Gueirard, 1962).

χq. **Quartzites du Temple (quartzites du Loli pro parte).** Les quartzites du Temple forment l'épisode terminal du cycle détritique des Sauvettes. Quartzites blancs, parfois bleus, à patine rouge, très durs, en plaquettes centimétriques ou en bancs métriques, séparés par des délits schisteux, leur épaisseur varie de quelques mètres à plus de 100 mètres.

Ils contiennent localement des niveaux schisteux noirs (le Fenouillet—

Porquerolles—Pierrefeuf). C'est dans l'un de ceux-ci que H. Schoeller (1938) a découvert les Graptolithes qui permettent d'attribuer un âge paléozoïque inférieur à cette série. Ils affleurent sur le sentier à 50 m derrière la chapelle de Notre-Dame-du-Fenouillet.

Une étude récente de cette faune (S. Gueirard et *al.*, 1970) y a signalé : *Monograptus*, *Mesograptus*, *Glyptograptus*, *Orthograptus*, *Retiolites*, permettant de dater de la limite Llandoveryen supérieur—Tarannonien inférieur, zones 21-22 d'Elles et Wood.

SA. Phyllades noires de Notre-Dame-des-Anges (phyllades du Loli *pro parte*). Situées sur la barre de quartzite du Temple elles sont caractérisées par un débit régulier en plaquettes et une couleur noire, due à leur richesse en graphite alliée à leur faible teneur en matériaux détritiques.

SC. Phyllades détritiques de Carmaures (quartzites et phyllades du Loli *pro parte*). Alternant avec des lits de chloritoschistes, apparaissent des niveaux arkosiques et gréseux qui donnent à cette formation une allure rythmique beaucoup plus franche. Localement l'apport siliceux se développe et il apparaît des quartzites en plaquettes ou massifs, blancs à patine rouge (X_g). Il ne semble pas que ces bancs soient continus, mais ce sont des lentilles dont l'extension peut atteindre quelques kilomètres, à l'exception toutefois du niveau inférieur dont la continuité paraît établie sur tout le domaine de la feuille. On notera cependant que, dans la région de Pierrefeuf, ce niveau inférieur est réduit à un mince banc de graviers feldspathiques.

SM. Phyllades bleues du Réal Martin (phyllades d'Hyères de la feuille à 1/80 000). Épaisse formation affleurant dans les Maurettes, les crêtes de Viet et des Bertrands, les phyllades du Réal Martin ont succédé à l'épisode plus détritique de Carmaures. D'aspect très uniforme, elles sont riches en chlorite, séricite et graphite. Elles présentent souvent des strates de faible épaisseur (varves) ; leur dépôt s'est fait en milieu confiné, favorable à l'accumulation des sapropèles.

A l'Est des gneiss de Bormes

La succession stratigraphique y est la même qu'à l'Ouest, quoiqu'incomplète dans sa partie supérieure, mais le métamorphisme croissant a transformé les phyllades SS en micaschistes ξS.

On notera de plus des différences entre ce qui affleure au Nord de la faille Borrel—Auberge du Dom—Barral—aire de Pradel (versant nord-est) et ce qui affleure au Sud de celle-ci (versant sud-est).

Versant nord-est

ζt. **Paragneiss en dalles.** C'est une formation massive avec bancs bien individualisés. Certains de ceux-ci peuvent contenir des yeux centimétriques de plagioclase acide.

Les limites de cette formation, telles qu'elles sont portées sur la carte, ne présentent pas de valeur stratigraphique précise.

Les gneiss de Bormes ne réapparaissent pas ici en-dessous de ζt.

ξ. **Micaschistes stratigraphiquement indifférenciés à grenat.** Situés sur les paragneiss ζt, ils supportent les amphibolites. Dans l'angle nord-est du territoire de la feuille on y trouve des passées à staurotide et grenat qui n'ont pas été distingués.

δλ. **Amphibolites et leptynites associées.** Les amphibolites présentent les mêmes caractères que celles qui affleurent à l'Ouest des gneiss de Bormes, pourtant la calcite y est exceptionnelle. Leur épaisseur est habituellement faible et leur altération générale. Les leptynites qui leur sont associées sont souvent en meilleur état et facilitent leur identification.

ξS. **Micaschistes à deux micas.** Ils contiennent souvent des aiguilles de tourmaline

noire et de petits grenats. Ils dérivent d'une série détritique et contiennent des niveaux plus quartzo-feldspathiques, d'autres plus micacés. Ils présentent assez souvent un délit en dalles à surfaces micacées qui rappelle celui des paragneiss ξ_t avec lesquels ils peuvent être confondus.

Versant sud-est

La série affleurant sur le versant sud-est, au Sud de la faille Borrel—Auberge du Dom—Barral—aire de Pradel, est stratigraphiquement la même que celle qui affleure plus au Nord ; elle s'en différencie cependant par les caractères suivants :

— absence des amphibolites $\delta\lambda$. Ce que l'on observe dans la région de Cavalaire (feuille Saint-Tropez) permet de conclure que le niveau des amphibolites coïncide à peu près avec le toit de la série des micaschistes à minéraux ξ_{sg} .

— développement des minéraux dans le niveau ξ_{sg} : les grenats peuvent atteindre 1 cm de diamètre, les staurotides former des baguettes de 5 à 10 cm de long sur 1 cm de large.

— développement du disthène en baguettes centimétriques ; il est localement associé à l'andalousite et à la sillimanite (S. Gueirard *et al.*, 1971) ; il est absent au Nord de la faille. Il a été distingué par un figuré spécial.

FORMATIONS MÉTAMORPHIQUES DES ILES D'HYÈRES

Presqu'île de Giens

Elle est constituée par une série monoclinale très redressée, à pendage N.NE, énergiquement froissée. La partie occidentale de la presqu'île présente un brusque rebroussement des formations dont l'orientation devient à peu près nord—sud et le pendage vers l'Est sub-vertical.

SA. Phyllades noires de Notre-Dame-des-Anges. Les formations débutent à l'Ouest par une série, assimilée sous réserve aux phyllades de Notre-Dame-des-Anges, dont la stratigraphie présente des caractères inconnus ailleurs ; on peut en effet la subdiviser de bas en haut en trois niveaux d'importance analogue :

— des phyllades grises avec alternances de lits phylliteux verdâtres et de lits calcaires gris énergiquement boudinés. La présence de calcaires à ce niveau n'a pas été jusqu'ici signalée ailleurs dans le massif ;

— des phyllades noires avec niveaux graphiteux pulvérulents ;

— des phyllades verdâtres énergiquement plissotées dont certains lits, particulièrement des charnières de plis métriques, ont été pseudomorphosés en limonite.

SC. Phyllades détritiques de Carmaures. Au-dessus vient un niveau de quartzite en plaquettes assimilé au niveau de base des phyllades de Carmaures (crête d'Escampobariou). Suit une série attribuée aux phyllades elles-mêmes : ces roches présentent un litage à séquences décimétriques alternativement gris et jaune verdâtre, auquel est superposée une foliation millimétrique. Le tout est énergiquement froissé et recoupé par une schistosité discordante.

Elles contiennent deux niveaux de quartzites en plaquettes : l'un va du Niel à la Madrague, le second du cap de l'Esterel au cimetière de Giens.

Ile de Porquerolles

Elle est constituée par les termes **SS** à **SC** de la série des phyllades. Ils dessinent un arc dont la branche orientale est orientée sensiblement nord—sud et la branche occidentale W.NW—E.SE. Le pendage vers le Nord est faible au centre (château-fort de Porquerolles) et s'accroît aux deux extrémités.

Cet arc est cassé par des failles rayonnantes délimitant des claveaux, failles le long desquelles se sont produits des mouvements de coulissages dus sans doute à un resserrement tardif de l'arc.

Le déplacement relatif maximal vers le Sud affecte le claveau central. Le raccord de cet ensemble avec les structures visibles sur le continent n'est pas évident. La disposition d'ensemble rappelle celle de la presqu'île de Giens.

SS. Phyllades des Sauvettes. Elles forment toute la crête de Notre-Dame et la falaise orientale de l'île.

Ce sont des phyllades verdâtres, fines et régulières, avec passées graphiteuses, contenant des cristaux souvent très abondants de chloritoïde. Leur stratification est bien marquée et rappelle celle des phyllades du cap Bénat.

Xq. Quartzite du Temple. C'est un quartzite massif, blanc à patine rouge, passant vers le haut à un quartzite bleu à noir, en plaquettes. Un niveau de schistes graphiteux noirs s'y trouve intercalé, rappelant comme allure et position celui de Notre-Dame-du-Fenouillet. Cependant jusqu'ici aucune faune n'y a été trouvée.

SA. Phyllades noires de Notre-Dame-des-Anges. Elles sont caractérisées par leur couleur sombre et leur toucher graphiteux. Elles ont été exploitées au cap des Mèdes et utilisées comme matériau d'empierrement dans toute l'île.

SC. Phyllades détritiques de Carmaures. Elles présentent un faciès exceptionnellement détritique : les niveaux siliceux sont abondants quoique rarement quartzitiques : des séquences métriques y débute fréquemment par des lits à graviers de quartz étirés (phare de Porquerolles). Les passées de phyllades sont toujours plus ou moins gréseuses.

Les niveaux X_g qui ont été distingués ont pour but de mettre en évidence ce caractère, bien qu'ils exagèrent l'allure hétérogène de la série.

Dans la partie ouest de l'île, on retrouve des pseudomorphoses de couches en oxyde de fer, qui ont alimenté un ancien établissement métallurgique dont les déblais encombrant le ravin débouchant au Langoustier.

Ile de Bagaud

Cette petite île, d'orientation nord-sud est légèrement courbée avec concavité tournée vers l'Est.

Elle est constituée par des quartzites et phyllades gréseuses à chloritoïdes, attribuables aux niveaux SS et X_q.

La couverture végétale très dense empêche de se faire une idée précise de la structure qui paraît compliquée : sur le rivage oriental, des dalles plissées ont un plongement général vers l'Est, tandis que le rivage occidental montre une série grés-quartzitique sub-verticale.

Cette disposition paraît attribuable à des replis dans un dispositif synclinal, suite vers le Sud du synclinal des Bormettes.

Ile de Port-Cros

Elle est constituée par une série monoclinale d'orientation N.NE-S.SW, à plongement raide vers l'W.SW. C'est évidemment le prolongement vers le Sud de la série affleurant dans le cap Bénat.

On y voit affleurer successivement d'Est en Ouest :

ξ_{sg}. Une série de micaschistes à staurotide dont la base passe à des micaschistes ξ en dalles et des gneiss ζ_t. On retrouve ces micaschistes à la pointe de Port-Man : on peut hésiter entre une répétition tectonique, les gneiss ζ_t de Port-Man constituant l'axe d'un repli anticlinal (hypothèse figurée sur la carte par analogie avec la structure du cap Bénat), ou bien une simple récurrence stratigraphique du faciès à staurotide.

$\delta\lambda c$. Puis vient un banc de collobriérite visible dans la partie nord de l'île (col de la Marma-Ménage Notre-Dame). Sa présence à ce niveau pose un problème :

— ou bien cette collobriérite est l'équivalent stratigraphique de l'amphibolite du cap Bénat et, dans ce cas, le faciès des micaschistes détritiques se poursuit ici plus haut que sur le continent ;

— ou bien l'équivalent de l'amphibolite n'a pas été reconnu ; les micaschistes détritiques sont au même niveau ici que là et la collobriérite qui apparaît ici est plus ancienne que celle du continent.

ξD . Des micaschistes détritiques à faciès de gneiss leur succèdent. Leur épaisseur va en croissant du Nord au Sud : on remarque, dans la crête dominant la pointe du Vallon, qu'ils sont suivis par des récurrences de grès et quartzites en plaquettes interstratifiées dans la base des phyllades à chloritoïde.

Ss . Les phyllades à chloritoïdes des Sauvettes—cap Bénat constituent plus de la moitié occidentale de l'île.

Ile du Levant

Tandis que l'île de Port-Cros était constituée par le prolongement vers le Sud de la série du cap Bénat (située à l'Ouest des gneiss de Bormes), à l'île du Levant on trouve les gneiss de Bormes eux-mêmes suivis plus à l'Est par le prolongement des séries qui forment les Maures centrales.

Dans les deux îles, l'orientation des couches est la même (N.NE—S.SW). Le pendage est ici très redressé ou vertical.

Les formations dessinent un premier synclinal (du Grand-Avis) qui est coupé en deux par une faille sub-méridienne dont la présence entraîne, sur la carte, la disposition en biseau en sens inverse des deux formations ξ et ξ_{sg} qu'elle sépare.

Un deuxième synclinal (du Titan) lui fait suite à l'Est : un lambeau de son flanc occidental émerge seul dans le cap du Titan.

1 - Partant du cœur anticlinal des gneiss de Bormes en direction de l'Est, on rencontre successivement :

ξM . des gneiss migmatitiques équivalents de ceux de Bormes, bien que le faciès œillé soit absent. Leur épaisseur totale est environ deux fois plus faible que sur le continent ;

ξ_{sg} . série de micaschistes à staurotide et grenat, avec disthène abondant ; on peut identifier trois bandes principales séparées par des récurrences de gneiss ;

ξ_{sg} . une bande étroite des mêmes micaschistes à staurotide et grenat (pointe des Grottes) borde à l'Ouest les gneiss. On peut la considérer comme la base du flanc occidental des gneiss et le début de la série de Port-Cros.

ξS . la série détritique qui forme le plateau du Grand-Avis, métamorphisée en micaschistes (cœur du synclinal du Grand-Avis).

2 - Au-delà de la faille du Grand-Avis, vers l'Est, on trouve une série anormalement épaisse de micaschistes à staurotide et disthène ξ_{sg} ; à la base de celle-ci existe un banc de quartzite sur lequel est appuyé le petit barrage du réservoir d'eau de la Madone.

ξ . Ce banc repose sur des micaschistes à disthène dont les affleurements sont particulièrement remarquables entre le Grand Cap et la pointe du Lisarot.

ξt . La base de la série est constituée par des gneiss en dalles de type habituel. Ceux-ci forment l'axe anticlinal qui sépare les synclinaux du Grand-Avis et du Titan.

3 - Au Sémaphore du Levant affleure à nouveau la série ξ à disthène, suivie de ξ_{sg} au phare du Titan.

Rappelons la présence de la dolérite des Pierres de fer, un filon injecté (au Tertiaire ?) dans la série des micaschistes à disthène de la rive sud de l'île.

TERRAINS ÉRUPTIFS

γ^2 . **Granite à biotite de Barral.** Au milieu des gneiss de Bormes, près du poste de garde-feu de Barral, affleure une petite ellipse de granite à biotite, profondément arénisé. La roche, de teinte variable, est surchargée d'enclaves micacées.

On notera l'existence, dans la base du *Permien* du bas Gapeau, de nombreux galets d'un granite leucocrate inconnu en affleurement.

δ . **Filons et coulées de spilites, métamorphisées en amphibolites, de Sainte-Émilie et des Maurettes.** Ce sont des roches faites de grands cristaux d'amphibole, très altérées, mais présentant à l'analyse un caractère sodique accusé.

α . **Porphyrites du Lavandou (andésite altérée).** On trouve dans le cadre de cette feuille quelques filons d'andésite profondément altérés, analogues à ceux des feuilles voisines. Le plus important est celui de « porphyrite » du Lavandou. Leur âge probable serait permien.

β . **Basalte de Bargean.** Ce petit pointement est situé à 500 m au Nord de l'accident de la Mole, juste à la bordure de la feuille, près des Baraques-de-Bargean. Il fait partie des cheminées ayant alimenté la nappe basaltique de Maravieille (feuille Saint-Tropez) à laquelle on attribue un âge tertiaire récent.

β . **Dolérite des Pierres de fer (île du Levant).** Un important filon de dolérite existe sur la côte sud-est de l'île du Levant (Grand Cap et calanque des Pierres de fer). Ses épontes sont plus finement cristallisées que le cœur. Il est altéré en boules. Des boules de même type existent aussi sur la crête au Nord de la pointe du Titan.

FORMATIONS SÉDIMENTAIRES

h5-r1. « Permien ». **Faciès de Collobrières (Stéphanien supérieur).** Ces formations remplissent les fossés d'effondrement (Réal Martin, font de la Truie, les Correls, l'Alpie). Ce sont des grès et pélites versicolores contenant des miches dolomitiques brunes. Par comparaison avec ce qui existe à Collobrières où une mine de houille a fourni une flore du Stéphanien supérieur (H. Parent, 1932), on peut penser que ces formations sont de ce même âge. Cependant elles ont été notées en *Permien* car elles constituent toujours la base du cycle sédimentaire permien, avec lequel elles sont en parfaite continuité.

r2. « Permien ». **Faciès grès rouge.** Des grès et pélites rouges, dont le faciès est caractéristique, affleurent à l'angle nord-ouest du territoire de la feuille (la Mayonette) ainsi qu'au pied du mont des Oiseaux (de la gare d'Hyères à l'Almanarre) et probablement sous la plaine quaternaire de la Londe.

L'existence locale de conglomérats à galets de phyllades conduit à penser que le socle hercynien n'était pas entièrement recouvert par les grès permien.

t1-2. **Trias inférieur. Argilites schisteuses et grès rouges.** A la base, les grès rouges et grisâtres, souvent grossiers, dominant. Au sommet, on a des argilites schisteuses rouges et des grès.

Le tout présente beaucoup d'analogies avec les couches permiennes sur lesquelles le Trias inférieur repose, tantôt en concordance, tantôt en faible discordance. Mais on observe souvent, au contact, des poudingues à galets de quartz clairs (« poudingues à dragées »), caractéristiques, avec lesquels on fait débiter, à la base, le Trias inférieur.

t3-5. **Muschelkalk. Calcaires compacts.** Le Trias moyen est constitué par des calcaires compacts, à cassure généralement gris foncé ou noire, parfois jaunâtre : les bancs sont bien lités et présentent souvent des vermiculations noirâtres. Des couches marneuses s'intercalent çà et là entre les bancs compacts. Cet ensemble ne représente probablement, en Provence, qu'un des termes du Muschelkalk de l'Europe centrale, à savoir les calcaires à *Ceratites nodosus*.

Les fossiles sont en général peu nombreux : on trouve cependant, parfois en abondance, dans les bancs marneux *Cænothyris vulgaris* Schloth. ; les autres espèces sont : *Hærnesia socialis* Schloth., *Myophoria vulgaris* Schloth., *Avicula costata* Qu. ; on rencontre aussi des articles d'*Enocrinus liliiformis* Lamk. ; *Ceratites nodosus* Brug. est rare. Vers le sommet, et parfois à la base, se développent des calcaires dolomitiques, passant à des cargneules.

t7-9. **Keuper. Argilites rouges à gypse et cargneules.** Le Keuper est représenté par des argilites rouges ou bariolées, avec intercalations locales de gypse, et par des cargneules à cassure jaune, brune ou rougeâtre. Les deux faciès voisinent, les argilites étant prédominantes en certaines régions, les cargneules en d'autres.

t10. **Rhétien. Calcaires lités.** Le Rhétien fait généralement corps avec l'Hettangien. Il est constitué par des alternances de bancs calcaires durs, gris-bleu ou roux foncé, à texture finement saccharoïde, et de plaquettes jaunâtres ou jaune verdâtre en lits minces et de texture zonée. Dans la partie moyenne et supérieure, des plaquettes ou des dalles, souvent débitées par l'érosion, contiennent, avec *Avicula contorta* Portl., fossile caractéristique de l'étage, *Mytilus minutus* Goldf., *Chlamys falgeri* Mer., *C. janiriformis* Stopp., *Myophoria postera* Quenst., *Cardita austriaca* Hau., *Ostrea hisingeri* Nils. et des restes de Poissons.

l1-2 **Hettangien. Bancs calcaréo-dolomitiques.** Ce sont des bancs calcaréo-dolomitiques blanc jaunâtre, blanc grisâtre, assez épais, alternant avec des empilements de bancs minces ; les uns et les autres montrent une cassure parallépipédique, une texture souvent zonée et un aspect cendré. Quelques lits d'argile verte s'intercalent à la partie inférieure et moyenne de la succession, couronnée localement par des bancs plus durs et légèrement siliceux. Ensemble azoïque sur tous les affleurements de la feuille. Quelques surfaces supérieures dénudées montrent des corrosions, des vacuoles, une teinte rosée et un aspect cargneulique.

Mv. **Tyrrhénien. Cordon littoral + 4 m, galets et sables.** L'ensemble du littoral des Maures est jalonné par un cordon de galets marins principalement quartzeux, quartziteux ou granitiques, qui affleure à une altitude moyenne de + 4 mètres (Chamley, 1969). Les galets, dont la surface est rubéfiée, peuvent passer, latéralement ou en amont, à des sables de plage ou de dune d'arrière-plage. Les affleurements sont particulièrement nombreux sur le pourtour du cap Bénat, où le gisement est le même que celui des dépôts marins littoraux actuels. Les sédiments de plage ont été recouverts et protégés par les limons rouge-ocre colluvionnés depuis l'arrière-pays et qui constituent une matrice rougeâtre ; localement se sont développés des minéralisations et encroûtements ferro-manganeux. Les variations d'altitude du cordon, comprises entre + 1,5 et + 8 mètres, sont liées principalement au mode hydrodynamique et très peu à des réajustements tectoniques ; cela montre la stabilité récente des Maures méridionales, par rapport à l'Estérel (Chamley et al., 1971) et à la Provence calcaire (Blanc et Bonifay, 1953). Seules Porquerolles et Giens paraissent témoigner d'un gauchissement récent vers le Nord. L'ensemble des dépôts à matrice rubéfiée, dépourvus de fossiles, est attribué au cycle tyrrhénien et se trouve être dans tous les cas plus ancien que les grès et conglomérats marins gris et à ciment calcaire, qui existent entre 0 et - 4 mètres au Sud et au Nord de Giens.

Dy. **Wurmien. Grès dunaire.** Des lambeaux de grès à ciment calcaire, contenant surtout du quartz et des fragments d'organismes, sont connus à Porquerolles (Grande Plage), à Port-Cros (pointe du Tuf, vallon de la Solitude) et à l'île du Levant (plage des Grottes), et s'étagent entre le niveau marin actuel et plusieurs dizaines de mètres d'altitude (Blanc et Bonifay, 1957). Ils sont en partie comparables aux affleurements connus à la plage des Brouis, à l'extrémité du cap Lardier et à l'Est du cap Cartaya (feuille Saint-Tropez), ainsi qu'au rocher de San Peyre (la Napoule, feuille Cannes). D'origine principalement éolienne, ils correspondent à plusieurs phases de mise en place, dont l'âge, malgré l'absence de fossiles caractéristiques, peut être rapporté au Tyrrhénien et au Würm.

Fy. Alluvions anciennes. La plupart des dépressions et vallées situées à l'intérieur du massif ont été remblayées par des limons ocre contenant des blocs anguleux de quartz blanc et des plaquettes de phyllades ou de micaschistes. Ces formations résultent de l'entraînement et de l'accumulation des sols méditerranéens qui, initialement, couvraient tous les reliefs. Ce décapage généralisé paraît déjà assez ancien et l'on ne retrouve pratiquement plus aucun de ces sols en place. Il semble s'être produit alors que le niveau de la mer était situé à une dizaine de mètres plus haut qu'actuellement. Une ancienne ligne de rivage se dessine à ce niveau derrière les Salins d'Hyères.

D. Dunes. Des dunes récentes, généralement peu développées, se sont formées le long du littoral, en haut des plages ; elles constituent parfois de petits barrages en arrière desquels se sont formées des zones marécageuses dont le drainage n'est pas toujours assuré. On a porté en D les cordons littoraux du tombolo de la presqu'île de Giens ; ils sont actuellement revêtus de dunes fixées, mais sont constitués par des levées de galets et de graviers. Entre eux, ainsi que plus à l'Est, près de l'embouchure du Gapeau, ont été établis des marais-salants.

Mz. Flandrien. Cordon littoral + 0,50 m, galets et sables. Une encoche littorale située vers + 0,50 m existe fréquemment sur les côtes rocheuses. Attribuée au Flandrien, elle est généralement dépourvue de recouvrement sédimentaire. Toutefois, on note localement l'existence de sables, pas ou peu cimentés, qui ont été représentés sur la carte sous la notation Mz.

Fz. Alluvions récentes et éluvions. Les vallées principales sont remblayées par des alluvions formées de sables micacés argileux avec lits de galets, dans lesquels les rivières sont le plus souvent encaissées de deux ou trois mètres. Il est fréquent que, dans le massif lui-même, celles-ci coulent directement sur le bed-rock. Ce fait n'a généralement pas été reporté sur la carte par suite des complications graphiques qu'il aurait entraîné. Ces alluvions sont assez fréquemment exploitées pour en extraire sable, graviers et galets.

Tout le massif cristallin est couvert d'éluvions riches en débris de quartz, passant localement à des coulées d'éboulis. Par suite de leur généralité et de leur faible importance, ces formations n'ont pas été distinguées.

NATURE DES FONDS MARINS

Remarques liminaires : le milieu physique et biologique

1 - La feuille comprend la zone la plus orientale de la rade d'Hyères, à l'Ouest, la baie d'Hyères, l'archipel des îles d'Hyères (îles *Stéchades*), la rade de Bormes et du Lavandou, le littoral de la partie occidentale du massif des Maures.

2 - Le précontinent est largement représenté par la rade d'Hyères et le socle cristallophyllien des îles. Il s'interrompt brusquement, vers le large, entre - 170 et - 180 m, au Sud des îles de Port-Cros et du Levant (canyon de Port-Cros, à forte pente) ainsi qu'entre le cap Nègre-le Canadel et l'île du Levant, où s'amorce le grand canyon des *Stéchades*, vallée sous-marine profonde, orientée d'Ouest en Est, parallèlement à la direction générale des Maures et de l'archipel.

3 - Le milieu physique demeure exposé à l'action des courants, vagues et houles.

Le courant général géostrophique, assez lent par temps calme (environ 0,5 nœud), orienté de l'Est vers l'Ouest (prolongement du *courant ligure*), se manifeste au niveau de l'archipel et principalement au Sud de ce dernier.

Des contre-courants, encore mal connus, se développent dans la rade d'Hyères. De tels circuits interviennent dans les actions locales de colmatage.

La région considérée demeure exposée aux houles et régimes du golfe du Lion, à l'Ouest du tombolo double de Giens, et, à l'Est de cette presqu'île, aux vagues et houles issues du golfe de Gênes. Ces dernières actions apparaissent dominantes tandis

que la charge sédimentaire du Gapeau, du Pansard et du Pellegrin y conditionne une sédimentation plus rapide qu'à l'Ouest.

Les vagues de mistral (en rade de Giens), à forte cambrure, et celles relatives aux régimes d'Est, plus puissantes, sont responsables de dérives superficielles rapides et d'un transfert latéral orienté du NE au SW, puis au Sud (du Gapeau à la Capte et à la Badine). Les mouvements superficiels sont compensés en profondeur par des courants sagittaux épisodiques, assez puissants pour éroder les herbiers à Posidonies jusqu'à des fonds de 15 m et déterminant un réseau complexe de chenaux et *tombants* dont le détail ne saurait être représenté à l'échelle de la carte.

Des phénomènes de résonance liés à l'oscillation de seiches se manifestent dans les fonds de baies et au voisinage des littoraux orientés du Nord au Sud (rades de la Badine, au Sud du tombolo oriental de Giens, rade de Bormes). Au niveau des nodales se déposent des cordons sableux festonnés dont la présence atténue les *phénomènes d'érosion*. Ces derniers sont observés au tombolo ouest de Giens, à la Capte, plage d'Hyères, au Ceinturon, aux Bormettes et au Nord de la plage du Lavandou. Les causes sont à rechercher dans l'action des vagues incidentes obliques amenant le départ d'un transfert, les zones de courants sagittaux et, éventuellement, la dégradation de l'herbier à Posidonies et des *mattes*.

4 - Les peuplements sont essentiellement caractérisés, en rade d'Hyères, par le plus bel herbier à Posidonies du littoral méditerranéen français, jusqu'à une profondeur de 35 mètres. En deçà, on note l'extension des peuplements à Échinides et Bryozoaires du *détritique côtier* et les biocoenoses du coralligène d'horizon inférieur de la roche littorale (Giens, Port-Cros).

D'autres peuplements caractérisent les faciès d'envasement locaux, au centre des tourbillons, tandis que les stocks fossiles holocènes ou wurmiens constituent des paléobiocoenoses mêlées au *détritique côtier* et aux *sables détritiques du large*. Après le rebord, viennent, sur le talus, les peuplements bathyaux.

Les fonds de pêche sont surtout représentés par les herbiers à Posidonies ; assez dégradés, notamment en rade de Giens, par les facteurs hydrodynamiques et les pollutions liées aux émissaires. Il importe de protéger ces biotopes ainsi que les fonds du circa-littoral en relation avec les zones rocheuses : coralligène, graviers du *détritique côtier*.

Types de fonds

Les fonds représentés sur la carte seront généralement examinés par ordre de profondeur croissante. Nous distinguerons :

Les fonds rocheux, métamorphiques, bordent et prolongent les pointes et îlots : Giens, le Ribaud, le Langoustier à Porquerolles, les Saraignets, le Titan, le cap Bénat et les *roches* au large de la rade de Bormes (gneiss). Ces fonds rigides, à portance élevée, sont très exposés à l'action des vagues et courants. Ils sont entourés par des lobes et auréoles bio-détritiques grossiers, étalés par les courants de retour.

Grès sous-marins holocènes, limons palustres indurés de - 6 m à - 3 m, en rade de Giens, à l'Ouest du tombolo occidental. Ils représentent les témoins jalonnant, sous la forme générale de *beach rocks*, les étapes terminales de la remontée de la mer, au Versilien récent, à une époque où le tombolo de Giens était déjà formé et où le Gapeau avait adopté son cheminement vers l'Est, en rade d'Hyères. Ces dalles de grès passent *sous les mattes* de l'herbier à Posidonies.

Sables fins, mobiles et lessivés du « prisme littoral ». Ces sables de plages sont remaniés par les vagues et leurs déferlements et participent aux transits du transfert latéral et des courants sagittaux précités. Leur dispersion peut se manifester jusque par des fonds de - 12 mètres. On les observe sur de grandes étendues à la presqu'île de Giens (tombolo ouest, la Capte, la Badine, le Ceinturon), aux Bormettes, en rade de Bormes et du Lavandou. Aux plages de Cavalière et de Pramousquier, à l'Est du territoire de la feuille, des placers littoraux enrichis en grenats, staurotide, disthène et minéraux

opaques, sont le résultat de l'érosion des micaschistes à minéraux de la série du Cap Nègre. On retrouve d'autres concentrations à l'île du Levant et à Port-Man (grenats).

Les sables et graviers des épandages sous-marins, chenaux d'érosion dans les herbiers, ont été groupés sur la carte avec les *sables fins isométriques des fonds de baies* :

— les premiers se développent en rades de Giens et d'Hyères, étalés par les courants de décharge jusqu'à — 18 m sous la forme de lobes complexes, transversaux ou de remplissages de chenaux parallèles au littoral (l'Aiguade, le Ceinturon). On retrouve ces derniers aux îles, notamment à Porquerolles et, surtout, dans les passes balayées par les courants (Petite Passe entre Giens et Porquerolles, passe de Port-Cros, passe des Grottes entre Port-Cros et le Levant).

— les seconds garnissent, de — 5 à — 25 m, les fonds des baies de Bormes et du Lavandou. Ils s'étalent à la limite d'action des vagues et des courants de décharge. Ces sables isométriques sont fréquemment pollués ou enrichis de matériel pélagique issu du Gapeau ou du Bataillet.

Des graviers bioclastiques, cartographiés sous la même couleur, s'observent dans les corps sédimentaires mobiles, issus de l'érosion des herbiers à Posidonies, le long du littoral accore, du Brégançon au cap Bénat. À l'Ouest du Brégançon et en rade d'Hyères, des sables et graviers forment des étendues assez vastes, de — 25 à — 35 m, sous la dépendance d'influences complexes où interviennent les courants de fonds, les peuplements actuels et les thanatocoenoses holocènes.

Les sables bioclastiques liés aux herbiers à Posidonies constituent des *mattes* épaisses de plusieurs mètres et s'accroissent verticalement, parfois depuis l'époque romaine. Il en résulte un colmatage naturel et bénéfique de la rade d'Hyères (mouillages, fonds de pêche), entravé par les actions mécaniques (courants de fond) et l'activité humaine (arrachement des souches et pollutions). Les *tombants* des chenaux d'érosion peuvent atteindre une hauteur de plusieurs mètres. Localement, cet herbier peut se régénérer naturellement entre des cycles d'érosion assez courts. La limite inférieure d'extension des herbiers ne dépasse guère 35 à 37 m de profondeur (infralittoral).

Les sables hétérogènes du « détritique côtier » forment un vaste ensemble complexe, en cours d'étude et correspondant à la majeure partie des fonds en rade d'Hyères, au Sud de Porquerolles, de Port-Cros et du Levant, à l'Ouest de la rade de Bormes. À partir de la plage d'Aiguebelle, la réduction du précontinent à une largeur de 1,5 mille naut., due au développement du canyon des Stéchades, entraîne la limitation de ces sables hétérométriques, localement enrichis en pélites (rade de Giens, baie du Niel, rade de Bormes).

Vers le large, de — 160 à — 180 m, les sables du détritique côtier, passent aux sables du *détritique du large*, au voisinage du rebord et de la *knee line*. Cette dernière formation, riche en thanatocoenoses du Würm récent (*Chlamys septenradiata*, *Cyprina islandica*, *Modiolus modiolus*, etc.), n'a pas été délimitée dans le relevé des fonds : on la trouve au Sud du cap Nègre, de Porquerolles et du Levant.

Les sables vaseux de mode calme résultent de décantations de troubles en transit d'origine torrentielle. Ils s'accumulent au fond des baies (Hyères) et progressent en lobes allongés suivant la direction moyenne des courants de fond. On les retrouve encore sous la forme de *taches* riches en pélites, au Sud de la Londe et du cap Léoube. Des sédiments analogues, mais à peuplements différents, se développent en milieu circa-littoral plus profond ; cependant, dans le cadre de la présente feuille, on n'observe point le dépôt du faciès des *vases terrigènes côtières*, comme cela était le cas pour les feuilles Marseille et la Ciotat, dépôt lié à l'extension des apports fluviaux d'origine rhodanienne.

Sables et graviers, parfois concrétionnés, du détritique côtier : ils représentent le *pôle* grossier des sédiments circa-littoraux. Leur présence demeure liée à la topographie sous-marine (présence de pointes et d'îlots) ; aux actions hydrodynamiques (courants

de retour), aux peuplements parfois concrétionnants (Lithothamniées), voire aux thanatocoenoses. On les trouve au Sud de Giens, de Porquerolles, Bagau, Port-Cros, le Levant. En rade de Bormes, ces types de fonds ceinturent les plateaux sous-marins balayés par les courants et les roches du large. Ces formations sont actuellement en cours d'étude.

Les vases bathyales sont mêlées à des thanatocoenoses wurmiennes, au-dessous du *shelf break*. Entourant des pointements rocheux, colmatant une topographie aux détails complexes et mal connus, les vases bathyales garnissent les versants abrupts des canyons des Stéchades et de Port-Cros. Elles n'ont pas été étudiées dans le présent relevé.

REMARQUES GÉOLOGIQUES

STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS CRISTALLOPHYLLIENNES

La succession des formations cristallophylliennes qui figure sur cette carte tient compte de la structure en grands plis isoclinaux dont la preuve cartographique se trouve sur la feuille Collobrières : la terminaison péri-anticlinale de la bande de Collobrières permet d'établir la série stratigraphique et met notamment en évidence l'importance comme niveau-repère des amphibolites.

Il reste cependant qu'il n'y a pas d'argument péremptoire pour assimiler les quartzites d'Hyères auxquels sont associés les Graptolithes du Fenouillet avec les quartzites du Temple. Leur similitude est cependant très grande et la présence d'un niveau de schiste noir dans la bande de quartzite de Porquerolles, bien que les Graptolithes n'y aient pas été trouvés, rend cette hypothèse hautement probable. On notera également l'existence du chloritoïde à l'Ouest d'Hyères, alors que ce minéral n'existe pas dans les phyllades du Réal-Martin.

Si cette hypothèse est exacte, il faut conclure que l'ensemble des phyllades de Notre-Dame-des-Anges, des Carmaures et du Réal-Martin est postérieur au Silurien moyen. Les phyllades des Sauvettes pourraient alors avoir un âge ordovicien et les amphibolites correspondre à un épisode volcanique cambro-ordovicien.

SÉDIMENTOLOGIE DES SÉRIES MÉTAMORPHISÉES

On remarquera que la sédimentation oscille périodiquement entre deux pôles :

— des séries détritiques plus ou moins arkosiques, pouvant contenir localement des petits galets ou des graviers de quartz. Les dépôts sont rythmiques avec des alternances métriques de grès et de schistes ;

— des séries pélitiques graphiteuses avec alternances rythmiques beaucoup plus fines (cm à mm) évoquant un milieu confiné, à sédimentation sapropélique.

Curieusement les bancs de quartzite peuvent participer à des caractères sédimentaires de ce deuxième pôle et comporter des intercalations de phyllades graphiteuses (niveau du Fenouillet à Graptolithes, du cap des Mèdes, etc.).

La sédimentation de type détritique apparaît comme accidentelle et localisée aussi bien dans le temps que dans l'espace, d'où des passages latéraux de faciès dont l'exemple le plus net est celui des phyllades détritiques de Carmaures aux phyllades bleues du Réal-Martin, avec même disparition locale des premières au Sud de Pierrefeu.

Schématiquement on peut envisager trois cycles sédimentaires successifs :

— le premier, assez affecté par le métamorphisme, se termine par la mise en place des amphibolites avec leurs niveaux carbonatés ou condensés (collobriérite) ;

— le second, mieux caractérisé, comprend les phyllades des Sauvettes ; il débute par

un faciès flyschöïde non calcaire, puis évolue vers une sédimentation de plus en plus siliceuse (quartzite du Temple) à laquelle fait brusquement suite un épisode sapropélique (phyllades de Notre-Dame-des-Anges) avec, localement, dépôts carbonatés (si l'attribution des niveaux occidentaux de la presqu'île de Giens à SA est exacte) ;

— le troisième débute par les épisodes détritiques de Carmaures et de Porquerolles, puis la sédimentation s'affine progressivement et le cycle s'achève dans les monotones séries du Réal-Martin.

MÉTAMORPHISME HERCYNIEN

Toute la série des phyllades porte les traces d'un métamorphisme bien caractérisé, de type schistes verts de moyenne pression (type B 1.1 de Winkler). On peut donc s'étonner que les Graptolithes de Notre-Dame-du-Fenouillet aient été conservés dans ces conditions : il faut admettre qu'ils ont été protégés des actions destructrices thermiques et mécaniques par leur encaissement à l'intérieur des quartzites. C'est l'argument qui a conduit H. Schoeller (1938) à les rechercher là et à les trouver.

Le niveau-repère des amphibolites correspond sensiblement, à l'Ouest des gneiss de Bormes, au passage des phyllades à chloritoïde aux micaschistes à deux micas, c'est-à-dire du faciès schistes verts au faciès amphibolite-almandin ($B_1 \rightarrow B_2$) mais ce fait ne semble pas avoir de rapport direct avec la stratigraphie, puisque, à l'Est des mêmes gneiss, les couches correspondantes sont toutes à l'état de micaschistes.

Ceci conduit à l'idée d'une augmentation progressive du métamorphisme en direction de l'Est.

Plus curieux est le fait que le développement du disthène est localisé dans la zone située au Sud de la faille Borrel—Auberge du Dom—Barral—aire de Pradel, d'autant plus que cette faille, sans doute tardive, ne semble pas avoir un rôle structural important. Ceci doit sans doute s'expliquer parce que le métamorphisme s'est produit dans des conditions pression/température très voisines du point triple andalousite-disthène-sillimanite (association signalée au Rayol, S. Gueirard et *al.*, 1971) ; en conséquence une faible variation des paramètres physiques pouvait entraîner le développement d'un de ces minéraux aux dépens des autres, développement rendu ici apparent par suite du rejet de la faille.

LES GNEISS DE BORMES

Ceux-ci constituent le cœur d'un anticlinal qui, dans le cadre de la feuille Collobrières, est formé de plusieurs lentilles séparées par des bandes synclinales.

Son bord occidental porte une série stratigraphique réduite en épaisseur, riche en matériaux détritiques, où est localisée la collobriérite. Son bord oriental par contre montre une nette discordance du front de migmatisation par rapport aux structures plissées du synclinal de la Verne. Sur ce même bord apparaît le faciès à enclaves micacées et phénoblastes idiomorphes qui semble indiquer un début de mobilisation granitique.

L'histoire des gneiss de Bormes est donc compliquée ; il faut semble-t-il distinguer :

— une vieille structure rigide (peut-être cambrienne, Allègre et H. Maluski, 1969), qui aurait été disloquée lors du plissement hercynien et aurait alimenté la sédimentation des termes détritiques de la série de couverture ; cependant jusqu'ici aucun indice de discordance stratigraphique n'a encore été mis en évidence ;

— une zone de migmatisation hercynienne syn- et post-tectonique, non exactement superposée à la précédente, mais décalée vers l'Est, et dont le bord oriental aurait évolué jusqu'à un début de granitisation ;

— en profondeur et sans doute dans une période un peu plus tardive (le granite voisin du Plan de la Tour est carbonifère, M. Roubault et *al.*, 1970) cette migmatisation aurait atteint le stade batholitique manifesté par le petit pointement granitique de Barral.

STRUCTURE

On peut distinguer dans le massif des Maures, les effets des deux orogénèses différentes qui l'ont affecté : l'hercynienne et la provençale ; l'existence d'une phase précambrienne reste encore du domaine de l'hypothèse.

Orogenèse hercynienne. Elle a donné naissance aux grands plis isoclinaux qui caractérisent la structure régionale : on peut identifier ici sept anticlinaux successifs séparés par autant de synclinaux.

Ces plis ont ensuite été tordus en S suivant un dispositif particulièrement net dans l'arc de Bormes et les îles.

Une schistosité de flux S_1 , avec microplis isoclinaux, souvent confondue avec la stratification, a d'abord pris naissance. Puis s'est développée une schistosité de fracture S_2 de direction générale nord-sud, dont l'intersection avec S_1 a donné naissance à une linéation très accusée, associée à des microplis polygonaux qui est un caractère frappant de la majorité des roches métamorphiques du massif. Ces déformations se sont encore produites en phases de métamorphisme.

Phases tardives de l'orogénèse hercynienne. Elles sont caractérisées par la formation de larges bandes mylonitiques qui affectent les roches du socle (bande de Bargean, par exemple).

Ensuite se sont formés des fossés d'effondrement de direction NE-SW (Font de la Truie, les Borrels, l'Apie) ou E-W (Collobrières) dont les directions ne coïncident plus avec la structure antérieure et qui ont commencé à fonctionner au Stéphanien supérieur. Il n'y a pas, dans le cadre de la feuille, d'affleurement de Stéphanien inférieur, connu seulement plus à l'Est (Plan de la Tour, Reyran).

Orogenèse provençale. Elle est caractérisée par une poussée SW-NE qui a fait rejouer le réseau de failles est-ouest et provoqué des coulissages généralement sénestres, particulièrement apparents.

Elle a de plus entraîné l'apparition d'une schistosité fruste de fracture S_3 avec plis en genoux et cisaillements à pendage sud. Des microplis à axes verticaux se sont alors développés le long des failles dans certaines formations permienes.

Des chevauchements se sont en outre produits au cap Sicié, au cap Garonne, au mont des Oiseaux, ainsi que le renversement des quartzites d'Hyères au Fenouillet et le chevauchement du bord occidental du synclinal de Cavalaire (feuille Saint-Tropez).

MORPHOLOGIE

Le massif des Maures a été aplani au Tertiaire, probablement au Miocène, en tout cas antérieurement à la grande phase de creusement des vallées qui a précédé le Pliocène.

Cette ancienne surface affecte les gneiss de la région de Bormes (Pierre d'Avignon, 468 m) et les séries métamorphiques de l'Est (Biscarre, 482 m).

Elle est plus élevée au Nord de la feuille (roc Rigaud, 599 m) et se poursuit sur celle de Collobrières (le Treps, 640 m).

Elle s'abaisse vers l'Ouest où elle nivelle les phyllades vers 300 m d'altitude (les Bertrands, 316 m ; le Sorbier, 307 m).

Les restes de cette ancienne surface sont souvent limités par des glacis dont la morphologie est très fraîche : ravins à pentes raides avec cascades successives : Barral, Sauve Redone, Font Frege vers le Nord, Cavalière, le Canadel vers le Sud. Leur façonnement doit être très récent.

La presqu'île de Giens et l'île de Porquerolles montrent une ancienne surface inclinée du Sud au Nord, qui est peut-être à rapporter au même cycle de pénéplanation.

Il n'y a pas sur la feuille de canyons pliocènes émergés analogues à ceux du bas Argens ou de la Siagne ; pourtant le bord du socle cristallin des Maures ne se trouve pas bien loin au Sud en Méditerranée (G. Bellaïche, 1968).

Le réseau des rivières principales est souvent indépendant de la structure, par contre beaucoup de ravins secondaires sont orientés par des fractures NW-SE, conséquence tardive de la poussée provençale.

Les fonds de vallées sont assez largement remblayés et vont en s'évasant vers le littoral, ce qui laisse penser que leur creusement s'est poursuivi lorsque le niveau marin était plus bas que maintenant.

Par sa largeur et sa faible pente, la vallée de Réal Martin-Gapeau constitue une anomalie et n'est pas en rapport avec la faiblesse du ruisseau qui l'emprunte. Ce phénomène avait déjà été étudié par L. Lutaud (1924) et expliqué par des captures successives. Cette vallée se poursuit dans la rade d'Hyères, dont le fond est presque plat. Par contre, à l'Est de la transversale cap Bénat-île du Levant, apparaît la tête d'un canyon sous-marin qui s'approfondit rapidement en direction du Sud-Est (canyon des Stéchades).

Le bord de la mer montre l'existence de surfaces d'abrasion marine souvent inclinées. Il y en a généralement deux. L'une vers 60-40 m apparaît sur les flancs sud-ouest et nord-est du cap Bénat et à l'île du Levant (plateau du Grand Avis, du Lisarot, de la Rovère : à cette époque l'île du Levant était donc divisée en trois). Une autre, plus basse (vers 15-20 m) et plus générale, ne présente pas le même développement : elle paraît en rapport avec le niveau de remblaiement des alluvions anciennes.

La formation du tombolo de Giens est récente et en rapport avec le niveau actuel de la mer. Son développement est dû à la proximité du Gapeau dont les alluvions ont contribué à envaser la rade d'Hyères. Le phénomène est actuellement inversé et l'érosion sous-marine devient prédominante (J. Blanc, 1974).

RESSOURCES DU SOUS-SOL ET EXPLOITATIONS

HYDROGÉOLOGIE

Les terrains cristallins, imperméables en dehors des zones de fissuration ou d'altération superficielle, ne donnent lieu qu'à des circulations très réduites. Les sources sont peu nombreuses, de faible débit et tarissent souvent en été ; elles sont situées à des cotes topographiques élevées, en tête de bassin ; leur présence est liée à des zones d'altération et de fissuration préférentielles. Ces émergences sont en effet situées dans les quartzophyllades, les micaschistes ou les gneiss, soit sur le tracé des grands accidents est-ouest aux points où ceux-ci rencontrent des intercalations de terrains différents, amphibolites ou filons de quartz, soit, en dehors de la présence d'accidents, au contact de micaschistes ou de gneiss et d'intercalations d'amphibolites ou de filons de quartz.

D'une façon générale, les émergences sont peu nombreuses dans les quartzophyllades, rares dans les gneiss, plus abondantes dans les micaschistes. Dans ces deux premiers terrains, la zone d'altération assez développée a permis l'exécution de quelques forages d'ailleurs peu productifs (Valcros). Du fait de la pauvreté des ressources, on a multiplié les petits ouvrages de retenue.

A la limite sud-ouest du territoire de la carte, les calcaires triasiques nourrissent la source de la Vierge, commercialisée comme eau de table.

Entre les vallées du Gapeau et du Pansard, les dépôts récents reposant sur le Permien altéré, conservé le long des grands accidents est-ouest, sont le siège de circulations atteintes par quelques puits.

Les dépôts alluviaux des basses vallées (20 à 25 m d'aquifère utile) renferment des nappes abondantes et très sollicitées ; la plus importante est celle de la plaine d'Hyères dont elle assure la richesse agricole (prélèvements de l'ordre de 300 l/sec). Cette nappe est également sollicitée pour l'alimentation en eau de la ville d'Hyères, en rive gauche de Gapeau de part et d'autre de la RN 98 (débit moyen 150 l/sec ; 275 l/sec en pointe estivale). L'importance des prélèvements et les dépressions consécutives qui en résultent sur la nappe ont provoqué, lors de certaines années déficitaires quant aux précipitations, une remontée du biseau salé. Pour maintenir à l'amont de ce biseau une charge suffisante, un barrage anti-sel relève le niveau du Gapeau en amont de son embouchure.

Pour assurer l'alimentation du littoral en période estivale, on accumule pendant l'hiver derrière le barrage du Trapan, à l'Ouest de Bormes, un volume prélevé par pompage sur la vallée du Gapeau.

Les basses vallées alluviales plus réduites (la Londe des Maures, le Lavandou) ont des ressources restreintes : le secteur oriental du littoral est alimenté à partir des nappes alluviales de la Gisèle et de la Môle (golfe de Saint-Tropez).

Dans l'île de Porquerolles, existent de petites nappes dans les dépressions alluviales ; même en envisageant leur suralimentation par injection des eaux usées, elles ne pourraient suffire à l'alimentation de l'île et le projet de 1972 envisageait l'alimentation par *feeder* à partir du réseau côtier.

MÉTALLOGÉNIE ET SUBSTANCES MINÉRALES

Q. Le quartz d'exsudation est extrêmement fréquent au niveau des micaschistes. Par ailleurs, les principaux filons de quartz ont été indiqués sur la carte. Leur exploitation industrielle pour la silice a été essayée sur le territoire de la feuille Collobrières.

Certains filons sont minéralisés ; on peut en distinguer deux groupes :

Cu, Pb, Zn. Filons à B.G.P. [blende (Zn), galène (Pb), bournonite (Cu) avec gangue de quartz et baryte]. Ils sont souvent orientés est-ouest et localisés à proximité du contact $\chi_q - SA$.

Sb. Les filons à stibine-berthiérinite sont beaucoup plus strictement localisés dans la région des mines abandonnées de Valcros.

Il n'y a pas ici de filons de *fluorite* connus.

Fe. Il faut mentionner l'oxyde de fer, magnétite associée au grenat et à l'amphibole (grunérite) constituant le banc de collobriérinite sur lequel il existe une petite recherche au Sud-Est de Valcros.

L'oxyde de fer sous forme de limonite existe dans certaines phyllades et a été exploité au Langoustier de Porquerolles.

Ces minéralisations sont toutes situées à l'Ouest des gneiss de Bormes.

Le disthène a été prospecté dans le synclinal de Cavalière (B.R.G.M.) et la possibilité de son exploitation envisagée.

Pierres de construction et d'empierrement. Sont exploités dans ce but :

gne. les gneiss de Bormes : ζ_t dans le ravin de Castel Drèche, ζ_M dans celui de Maurer ;

calc. le calcaire compact du Muschelkalk du mont des Oiseaux : grande carrière à la limite de la feuille.

COUPES RÉSUMÉES DE SONDAGES

N° d'archivage S.G.N.	Altitude (en m)	Profondeur	Terrains traversés
<i>Hyères</i>			
1-6	+ 5,07	30,00	Alluvions wurmiennes
1-8	+ 6,08	80,00	Alluvions wurmiennes, Pliocène à 25,40, socle primaire à 77,5
1-10	+ 7,31	21,40	Alluvions wurmiennes, socle primaire à 21,20
1-185	+ 6,31	38,60	Alluvions wurmiennes, Pliocène à 19,90, socle primaire à 35,6
1-186	+ 6,00	106,50	Alluvions wurmiennes, Pliocène à 16,80, socle primaire non atteint
1-228	+ 6,50	25,40	Alluvions wurmiennes
1-249	+ 3,50	22,00	Alluvions wurmiennes
1-260	+ 3,40	30,00	Alluvions wurmiennes, Pliocène à 24, socle primaire non atteint
1-265	+ 4,90	26,00	Alluvions wurmiennes, socle primaire à 20,60
1-266	+ 4,60	49,70	Alluvions wurmiennes, Pliocène à 19,60, socle primaire à 49,7
2-15	+ 79,00	30,20	Primaire : alternances de quartzites et de phyllades
4-5	+ 400,00	50,04	Primaire : micaschistes à minéraux
5-1	+ 1,20	23,00	Quaternaire marin récent, socle primaire à 23,00
<i>Porquerolles</i>			
1-1	+ 3,00	33,50	Quaternaire marin récent, socle primaire à 32,00
1-8	+ 9,49	28,20	Quaternaire marin récent, socle primaire à 24,70

sgr. Sables, graviers et galets : des exploitations temporaires traitent ces matériaux à partir des alluvions quaternaires de fonds de vallée (Bargean, par exemple).

Le **chlorure de sodium** (sel marin) est retiré des marais salants de Pesquiers et des Salins d'Hyères.

DOCUMENTATION COMPLÉMENTAIRE

DESCRIPTION DE SITES CLASSIQUES ET D'ITINÉRAIRES

On trouvera des renseignements géologiques et notamment des itinéraires dans les publications suivantes :

- **Provence**, par C. Gouvernet, G. Guieu et C. Rousset, 1971, Guides géologiques régionaux, Masson et Cie, éditeurs.
- **Alpes-Maritimes, Maures, Esterel**, par R. Campredon et M. Boucarut, 1975, Guides géologiques régionaux, Masson et Cie, éditeurs.
- **A la découverte des paysages géologiques de Marseille à Menton** (1973). Service géologique national, B.R.G.M. éd., Orléans.
- **Le massif des Maures de Toulon à Saint-Raphaël**, par S. Gueirard. Guide régional de la France, 1962, Hermann.

SONDAGES

De nombreux forages ont été implantés dans le périmètre de la feuille Hyères-Porquerolles : il s'agit d'ouvrages effectués le plus souvent pour des recherches d'eau, quelquefois en vue d'études géotechniques et plus rarement dans un but de recherche minière. Le plus grand nombre de ces forages ne dépasse pas 20 m de profondeur. Nous donnons ci-après un tableau relatif aux plus importants.

BIBLIOGRAPHIÈ

- ARNOUX A. (1964) — Étude géochimique du bassin hydrographique du Gapeau. Thèse sciences, Marseille.
- ARTHAUD F., MATTE Ph. (1966) — Contribution à l'étude des tectoniques superposées dans la chaîne hercynienne : étude microtectonique des séries métamorphiques du massif des Maures (Var). *C.R. Acad. Sci.*, t. 262, p. 436-439.
- BELLAICHE G. (1968) — Reconnaissance du socle sous-marin des Maures et de sa couverture sédimentaire par sismique continue (« Air Gun »). *C.R. Acad. Sci.*, t. 266, p. 994-996.
- BLANC J.J., BONIFAY E. (1953) — Les terrains quaternaires littoraux des côtes de Provence occidentale. *Bull. Soc. géol. Fr.*, 9, 3, p. 847-864.
- BLANC J.J., BONIFAY E. (1957) — Observations sur le Quaternaire des îles d'Hyères (Var). *Bull. Mus. anthrop. préhist. Monaco*, 2, p. 125-148.
- BLANC J. (1974) — Phénomènes d'érosions sous-marines à la presqu'île de Giens (Var). *C.R. Acad. Sci.*, t. 278, p. 1821-1823.

- BORDET P. (1966) — Sur la structure géologique du Nord-Ouest du massif des Maures (Var). *C.R. Acad. Sci.*, t. 262, p. 2677-2680.
- BRONNER G. et al. (1971) — Un pli conique kilométrique : l'île de Porquerolles, fragment méridional du massif hercynien des Maures (Var). *C.R. Acad. Sci.*, t. 272, p. 20-23.
- CHAMLEY H. (1969) — Témoins d'un niveau marin quaternaire à la cote + 4 m sur l'ensemble du littoral des Maures. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 269 p., p. 1478-1481.
- CHAMLEY H., FROGET C., PASTOURET L. (1971) — Observations sur les plages quaternaires de l'Estérel. Relations avec les plages quaternaires des Maures. *C.R. Acad. Sci.*, Paris, D, 273, p. 2199-2202.
- GOUVERNET C. (1965) — Le comblement alluvial de la basse vallée du Gapeau à Hyères (Var). *Ann. Fac. Sc. Marseille*, t. 37, p. 195-210.
- GUEIRARD S. (1959) — Description pétrographique et zonéographie des schistes cristallins des Maures (Var). *Trav. lab. géol. Marseille*, t. VI, p. 71-264.
- GUEIRARD S. (1962) — Le massif des Maures de Toulon à Saint-Raphaël. Géologie régionale de la France, guide géologique n° IX, Hermann éd.
- GUEIRARD S. (1962) — A propos du chloritoïde du massif des Maures (Var). *Bull. Soc. fr. Min. Crist.*, t. 85, 2, p. 180-187.
- GUEIRARD S. et al. (1970) — Nouvelles précisions sur l'âge des schistes à Graptolithes du Fenouillet (massif des Maures, Var). *C.R. Acad. Sci.*, t. 270, p. 661-662.
- GUEIRARD S. et al. (1971) — Coexistence des trois polymorphes, disthène-andalousite, sillimanite dans les micaschistes à staurotite et grenat de la chaîne côtière des Maures (France). *C.R. Acad. Sci.*, t. 272, p. 193-195.
- LUTAUD L. (1924) — Étude tectonique et morphologique de la Provence cristalline. *Rev. Géogr.*, t. 12, n° 1, 271 p.
- MALUSKI H. (1968) — Étude tectonique, microtectonique et géochronologique de la partie méridionale du massif des Maures (Var). Thèse 3ème cycle, Montpellier, 85 p., fig., pl.
- MASUREL Y. (1964) — La Provence cristalline et ses enveloppes sédimentaires. Essai de géographie physique. Thèse doctorat Lettres, Paris, 418 p., fig., tabl., pl.
- MIGNON R. (1968) — Étude géologique et minéralogique de la partie occidentale du massif des Maures. Thèse 3e cycle, Montpellier.
- PARENT H. (1932) — Le terrain houiller à Collobrières et aux environs d'Hyères. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, 11, p. 159-161.

ROUBAULT M. et al. (1970) — Ages absolus des formations cristallophylliennes des massifs des Maures et du Tanneron. *C.R. Acad. Sci.*, t. 271, p. 1067-1070.

SCHOELLER H. (1938) — Sur la présence de Graptolithes dans les schistes métamorphiques du massif des Maures. *C.R. somm. Soc. géol. Fr.*, 9, p. 147-148.

Cartes géologiques à 1/50 000

Feuille *Hyères* :

1ère édition (1932) par H. Schoeller et L. Lutaud.

Feuille *Ile de Porquerolles* :

1ère édition (1932) par H. Schoeller.

Feuille *Toulon* :

1ère édition (1924) par E. Haug, A. Michel-Lévy, A. Lanquine, E. Maury et L. Lutaud.

2ème édition (1969), coordination par J. Rouire.

Carte géologique à 1/80 000

Feuille *Toulon* :

1ère édition (1887) par M. Bertrand.

2ème édition (1950), par L. Lutaud, A. Lanquine et H. Schoeller.

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

Feuille *Marseille* (1960), coordination par F. Permingeat.

Fonds marins : autres sources de documentation

Travaux de J. Blanc, L. Blanc-Vernet, J. Bourcart, C. Degiovanni, A. Jeudy de Grissac, O. Lehnardt, R. Molinier, W. Nesteroff, H. Pauc, F. Picard, J. Picard, C. Poizat, M. Poizat. Contrats de recherche C.N.E.X.O. (J. Blanc ; n° 72/475, 73/698 et 74/920).

Laboratoire de Géologie marine et Sédimentologie appliquée ; Centre Universitaire de Marseille-Luminy, 13288 Marseille Cédex 2.

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. Provence-Corse, Domaine de Luminy, Route Léon Lachamp, 13009 Marseille, soit au B.R.G.M., 6-8, rue Chasseloup-Laubat, 75015 Paris.

AUTEURS

P. BORDET (1967-1975) avec la collaboration de :

J. BLANC et A. JEUDY de GRISSAC pour la géologie marine,

H. CHAMLEY pour les dépôts marins du Quaternaire,

G. DUROZOY pour l'hydrogéologie.