

# **Le Rocher de Roquebrune (Var). Un cône alluvial exemplaire permien supérieur de bordure de bassin intramontagneux\***

*The Rocher de Roquebrune (Var) as an example of a Late Permian alluvial fan on the edge of an intramountain basin*

Jean DELFAUD<sup>(1)</sup>, Nadège TOUTIN-MORIN<sup>(2)</sup>

Mots-clés : Sédimentation fluviale, Cône alluvion, Permien supérieur, Extension tectonique Var (Bassin Bas-Argens)

## Résumé

Le Bassin du Bas-Argens est un bassin intramontagneux qui fonctionne en graben distensif au cours du Permien supérieur puis en héli-graben au Thuringien. Des seuils, guidés par de grands accidents N-S, l'isolent de l'Estérel et de la Dépression Permienne : ils sont actifs pendant la majeure partie du Permien.

Le long des failles bordières E-W s'édifient, au Permien supérieur, des corps conglomératiques, d'abord au nord, puis au sud. Le plus spectaculaire et le mieux conservé de ces cônes, le Rocher de Roquebrune, est situé sur la bordure méridionale du bassin ; il passe latéralement, vers le centre du bassin, à des sédiments fins, fluviaux, lacustres ou de plaine d'inondation. Verticalement, cet édifice montre les trois zones classiques d'un cône alluvial : niveau inférieur à *mud flows* et gros blocs anguleux, niveau médian à stratification oblique, terme supérieur chenalisé.

Une telle accumulation implique des phénomènes violents : à des crises climatiques, associées à un contexte de fort relief tardi-orogénique, se superpose un mouvement épirogénique d'ensemble qui a relevé le panneau sud et généré un abrupt de faille partiellement ennoyé par le cône de galets. Ce mouvement intègre un schéma global de déformation qui affecte toutes les bordures de l'actuelle Méditerranée, en fait la portion sud-occidentale de la chaîne varisque sud-européenne et les bassins intramontagneux qui lui sont subordonnés.

## Abstract

The Bas-Argens basin was originally an intramountain basin operating as an extensional graben during the Late Permian then as a demi-graben during the Thuringian. Two rises, oriented by major N-S trending faults, isolated the basin from the Esterel and the Permian Depression and were active during much of the Permian.

During the Late Permian, along the E-W trending bordering faults, conglomeratic bodies developed first in the north, then in the south. The most spectacular and the best preserved of the alluvial cones is the Rocher de Roquebrune, located on the southern edge of the basin which grades laterally, towards the centre of the basin, into fine-grained, fluvial, lacustrine and flood plain sediments. In the vertical sense the body displays the three standard zones of an alluvial cone i.e., lower mud-flows with large angular blocks, a middle cross-bedded zone and an upper channelled layer.

Such accumulations are indicative of violent phenomena with climatic extremes associated with high, late orogenic relief adding to epirogenic movement of the zone as a whole which abruptly uplifted the southern panel leading to partial infilling by the cobble-rich alluvial fan. This movement was part of a global deformation pattern which affected all the present-day edges of the Mediterranean, corresponding to the southwestern portion of the south European Variscan Mountain chain and its associated intramountain basins.

\* Manuscrit reçu le 8 décembre 1992, accepté définitivement le 17 mai 1993.

(1) Université de Pau-Pays de l'Adour. CURS-IPRA. Laboratoire de Géodynamique et Modélisation des bassins sédimentaires, Avenue de l'Université, 64000 Pau.

(2) Université d'Orléans, URA au CNRS n° 1366, Département Sciences de la Terre, Laboratoire de Géologie Structurale, BP 6759, 45067 Orléans Cedex 2.

## Introduction

Quelques caractères généraux, rappelés ici, permettent de modéliser les accumulations de matériel grossier que l'on observe souvent dans certaines zones, le long des accidents bordiers des bassins continentaux.

### Les modèles de cônes alluviaux

Les cônes continentaux (fig. 1) sont définis (Bull, 1972; Gloppent et Steel, 1981) comme des édifices

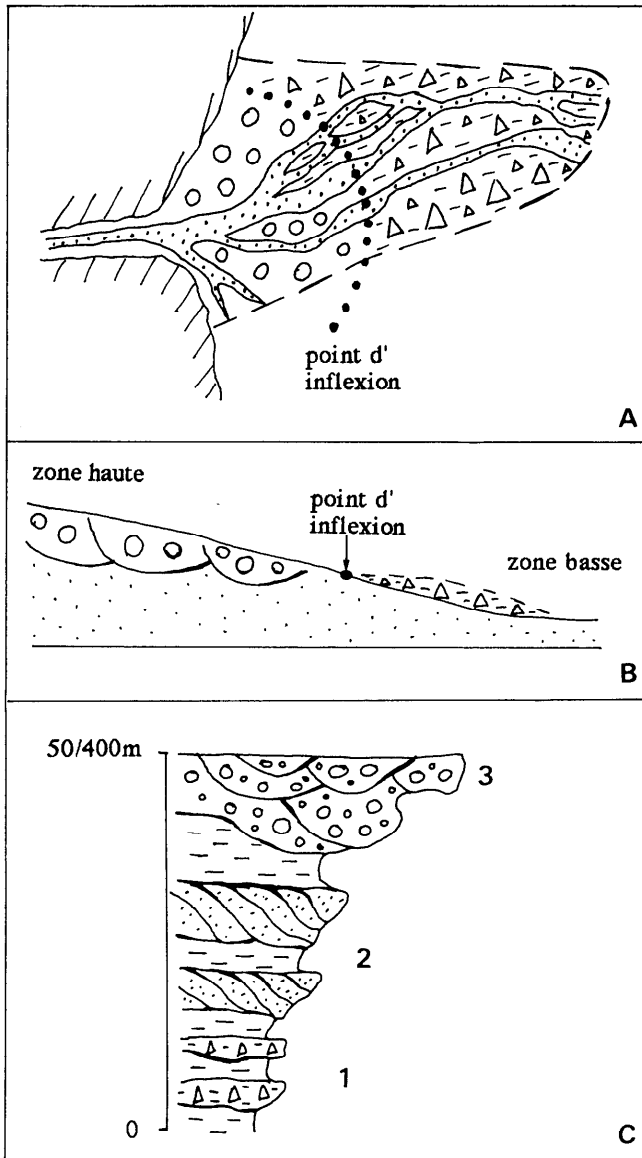


Fig. 1. - Modèle de séquence de cône alluvial (d'après Delfaud, 1984, complété).

A : Organisation en plan : ::::: chenal; /// reliefs; B : Coupe; C : Séquence : 1 : débris d'avant-cône, 2 : milieu de cône à stratifications obliques, 3 : haut de cône chenalisé;  $\Delta \Delta$  : débris d'avant-cône;  $o o$  : haut de cône chenalisé;

Fig. 1. - Sequential model of an alluvial fan (from Delfaud, 1984, with additions).

A : Planar organisation: ::::: channel; /// hills; B : Cross section; C : Sequence: 1 : Fore-cone debris, 2 : Middle fan with cross bedding, 3 : channelled fan top;  $\Delta \Delta$  : Fore-cone debris;  $o o$  : channelled fan top.

d'extension géographique limitée mais de forte épaisseur, caractérisés par la progradation de trois zones – avant-cône à débris et matrice boueuse à la base, milieu de cône, haut de cône souvent chenalisé – et formés à la faveur de changements du système morpho-climatique : ainsi se constituent les cônes au passage d'un climat froid à un climat tempéré ou les cônes semi-arides ; en domaine montagnard s'ajoutent le rôle des pentes et l'instabilité tectonique (Nilsen, 1982 ; Delfaud, 1984).

Verticalement, l'organisation séquentielle est strato-croissante et la distribution du matériel est fonction des paramètres climatiques et de la morphologie environnante.

Les cônes alluviaux s'édifient au pied des reliefs (Sinha Roy, 1981 ; Williams, 1982). Les cônes torrentiels sont alimentés par un torrent (Hérail, 1984) tandis que la succession d'écoulements en masse fournit le matériel sous climat semi-aride, soit désertique froid, soit tropical sec.

### Les cônes et les bassins intramontagneux

Des cônes se développent au pied des reliefs, le long des bordures faillées des bassins : ils sont liés au fonctionnement en graben ou en héli-graben des bassins intramontagneux ou à une phase de rifting (Collinson *et al.*, 1978 ; Reading, 1978). L'activité des failles bordières provoque un rajeunissement des reliefs nourriciers qui alimentent le cône en matériel grossier. L'accumulation, sur de grandes épaisseurs, peut se faire rapidement, sous l'effet de phénomènes violents : événements tectoniques ou climatiques (coulées boueuses provoquées par des séismes ou des averses violentes, par exemple). Latéralement, vers le centre des bassins, on observe le passage à des faciès fins, fluviatiles ou lacustres.

De nombreux exemples de cônes ont été signalés dans les terrains continentaux anciens comme le Dévonien de Norvège (Nilsen, 1973 ; Steel *et al.*, 1977), le Carbonifère de Catalogne (Besly et Collinson, 1991), le Miocène du Chélib algérien (Pailhé et Thomas, 1984), le Tertiaire des Andes centrales (Lavenu et Marocco, 1984), ou récents comme l'Himalaya actuel (Sinha Roy, 1981 ; Williams, 1982), mais ils restent dans l'ensemble peu étudiés.

### Les cônes dans le Permien méditerranéen

Le plus souvent, la sédimentation permienne correspond à d'épaisses « molasses », en général de couleur rouge, déposées dans des bassins tardi-orogéniques. Dans ces séries, les passages latéraux sont fréquents et les épaisseurs varient rapidement d'un point à l'autre des bassins. Telle est la description habituelle du Permien du pourtour de la Méditerranée occidentale.

Les études sédimentologiques ont montré que, sur les bords de ces bassins intramontagneux, les faciès sont souvent très grossiers, les blocs et les galets s'accumulant, au pied des reliefs de l'époque, pour former de grands corps conglomératiques non chenalisés.

Depuis quelques années, l'existence de ces cônes a été mise en évidence par différents auteurs de part et d'autre de l'actuelle Mer Méditerranée : dans le S-E de la France, dans le Dôme de Barrot et en Provence orientale (Toutin-Morin et Vinchon, *in* Châteauneuf et Farjanel, 1989, pp. 114-121), dans les Pyrénées (Lucas, 1987) et jusqu'au Maroc central (El Wartiti et

al., 1990). Si la localisation de ces édifices le long de grandes failles bordières des bassins permien a été remarquée et notée, leur analyse détaillée reste à faire car, le plus souvent, les conditions d'affleurement sont mauvaises ou ils sont hachés par la tectonique.

## Le contexte géologique

### Forme du bassin

En Provence orientale, les terrains du Paléozoïque supérieur affleurent dans une suite de petits bassins sédimentaires, depuis Cannes à l'est, jusque dans la région de Toulon à l'ouest (fig. 2).

La sédimentation continentale, épaisse et à dominante détritique, s'effectue dans des bassins intramontagneux isolés les uns des autres par des seuils plus ou moins mobiles durant le Permien; elle s'organise en séquences sédimentaires grano-décroissantes, séparées par des discordances de ravinement. Le volcanisme est abondant dans ces séries, en particulier à l'est de la région (Boucarut, 1971) où il masque la sédimentation mais ne modifie pas l'organisation séquentielle générale: c'est le cas du Bassin du Bas-Argens et surtout de l'Estérel. Enfin, les niveaux permien les plus élevés sont datés du Thuringien par les restes de flore (bassins orientaux), les traces de vertébrés (Estérel, Bas-Argens, Bassin du Luc) et les pistes d'invertébrés (Bassin du Luc) qu'ils renferment (Germain, 1968; Visscher, 1968; Boersma et Visscher, 1969; Vozenin-Serra *et al.*, 1991; Demathieu *et al.*, 1992).

Le Bassin du Bas-Argens est le mieux connu et le plus représentatif de ces bassins provençaux: ses bordures sont nettes et il a fait l'objet d'études détaillées grâce, en particulier, aux sondages réalisés par la COGEMA dans le Var entre 1969 et 1980 (Arévian *et al.*, 1979; Toutin, 1980; Toutin-Morin et Delfaud, 1984; 1987; Toutin-Morin *et al.*, en cours).

**Bassins permien:** 1: Estérel (Av graben de l'Avellan, Ag graben de l'Argentière); 2: Bassin du Bas-Argens; 3: Bassin du Luc; 4: Bassin de Cuers; 5: Bassin de Solliès-Pont; 6: Bassin de Toulon;

**Seuils permien:** I double paléorelief du Reyran; II seuil du Muy; III seuil de Vidauban; IV seuil de Pignans; V seuil de Pierrefeu; VI paléorelief du Pradet;

**Bassins carbonifères:** Re du Reyran; Pl. Tr de Plan-de-la-Tour;

**Failles:** La Saut. de La Sauteirane; F Roq. de Roquebrune;

**Permian basins:** 1: Esterel (Av Avelian graben, Ag Argentière graben); 2: Lower Argens Basin; 3: Luc Basin; 4: Cuers Basin; 5: Solliès-Pont Basin; 6: Toulon Basin;

**Permian rises:** II Reyran double paleorelief; II Muy rise; III Vidauban rise; IV Pignans rise; V Pierrefeu rise; VI Pradet paleorelief

**Carboniferous basins:** Re Reyran; Pl Tr Plan-de-la-Tour;

**Faults:** La Saut. La Sauteirane; F Roq. Roquebrune

Au début du Permien, le Bas-Argens est un bassin intramontagneux encaissé entre des massifs vigoureux au nord et au sud. Vers l'est, il est séparé de l'Estérel par le double paléorelief du Reyran, sensiblement N-S: cette zone haute sera progressivement ennoyée au cours du Permien supérieur et son rôle s'arrête après l'émission des rhyolites fluidales et pyromérides A<sub>11</sub> dans l'Estérel. Vers l'ouest, il est séparé de la « Dépression Permienne » par le seuil du Muy, également de direction sub-méridienne: cet ensemble de blocs faillés est mobile pendant la majeure partie du Permien et le horst gêne le passage du matériel venu de l'est (Toutin, 1980).

Cette direction N-S est héritée de l'orogénèse hercynienne (Toutin-Morin et Bonijoly, 1992).

Après l'Autunien, une direction nouvelle, voisine de E-W, apparaît et son rôle devient prépondérant au cours du Permien supérieur tandis que le régime distensif (distension N-S) se généralise dans la région: le Bassin du Bas-Argens s'effondre au début du dépôt de la Formation des Pradineaux. L'activité des failles de la bordure nord du bassin (failles de Bagnols-en-Forêt, du Rouet) produit la formation de gros cônes conglomératiques au début des dépôts (formations d'Ambon et de Bayonne); elle s'arrête au milieu du Permien, avec la Formation du Mitan. L'activité de la marge sud (failles de la Sauteirane-Roquebrune) se poursuit plus longtemps, jusqu'à la fin de la Formation du Muy au moins (Toutin-Morin et Delfaud, 1987): c'est ainsi que s'édifie, le long de la faille bordière méridionale, le Rocher de Roquebrune au cours du Permien supérieur.

Les deux grandes directions d'accidents dessinent ainsi un bassin de forme rhombique dont la mobilité entraîne une forte subsidence et donc l'accumulation d'une sédimentation épaisse au cours du Permien.

### Stratigraphie séquentielle

Verticalement, les premiers dépôts sont grossiers; ils correspondent soit à des brèches de démantèlement

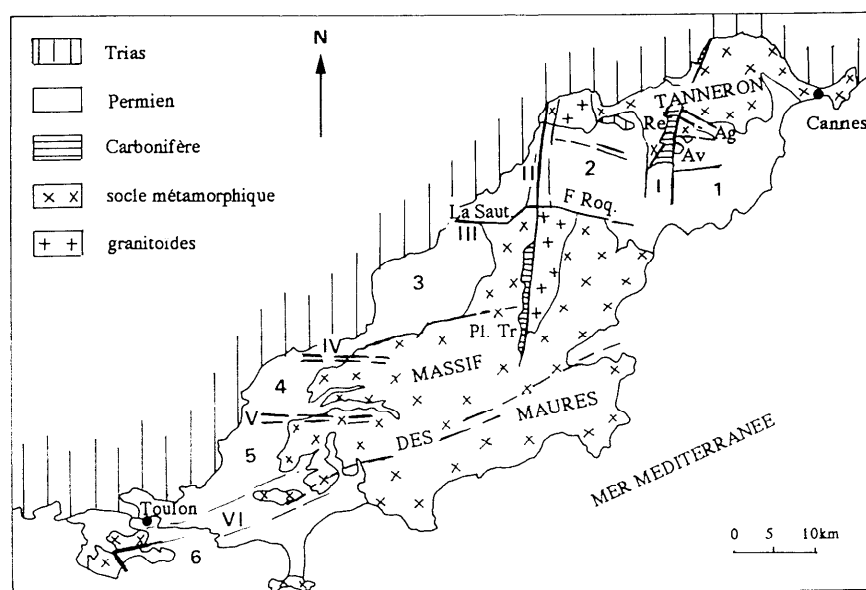


Fig. 2. - Carte de localisation des bassins permien provençaux.  
Fig. 2. - Map giving the location of Permian basins in Provence.

déposées sur place ou accumulées en cônes de piedmont puissants (Formation d'Ambon), soit à des coulées boueuses (Formation de Bayonne). Puis, les dépôts fluviaux dominent (formations du Mitan et du Muy en partie) et la série se termine par des faciès fins, de comblement (sommet de la Formation du Muy, Formation de la Motte à l'ouest du seuil du Muy), en rapport avec l'usure des reliefs bordiers (fig. 3).

Les formations sont des séquences sédimentaires organisées en séquences multiples de 2<sup>e</sup> ordre et les ravinnements et les passages latéraux sont fréquents dans cette série continentale.

L'épaisseur accumulée est forte au centre du bassin, très subsidente de part et d'autre du seuil du Muy (850 à 1 000 m), et au niveau des cônes (près de 450 m au sud du bassin). Elle est plus réduite sur les seuils ou les zones hautes, en relief pendant une partie du remplissage permien (250 m environ sur le bord ouest du paléorelief du Reyran).

Globalement, l'ensemble du Permien représente une mégaséquence sédimentaire positive (Toutin, 1980).

### Paléogéographie

Horizontalement, l'évolution est semblable. Les cônes grossiers, à blocs et galets, des bordures du bassin passent vers le centre à des produits fluviaux chenalés, parfois torrentiels, puis à des dépôts lacustres (carbonates à ostracodes) et palustres (galettes calcaires à analcime et tiges de végétaux) ou de plaine d'inondation (argiles rouges à illite, à traces d'assèchement et rides fréquentes). Des plans d'eau pérennes existent au centre du bassin, à l'est et à l'ouest du Muy.

Le matériel grossier est arraché aux reliefs bordiers du nord (Tanneron) et du sud (Maures); la majeure partie des produits fins circule dans le centre du bassin, à

partir du Massif de l'Estérel et s'évacue vers l'ouest, en direction de la « Dépression Permienne ». Cependant, pendant une grande partie du Permien supérieur, les zones hautes N-S empêchent périodiquement le passage des produits venus de l'est, en particulier le matériel volcanique émis dans l'Estérel (ainsi, la pyroméride A<sub>11</sub> ne franchit pas le paléorelief du Reyran et reste limitée à ce massif); vers la fin du Permien, ces seuils s'estompent et le matériel se propage vers l'ouest (fig. 4).

### Le cône du Rocher de Roquebrune

#### Succession verticale

Particulièrement spectaculaire et bien conservé, le Rocher de Roquebrune a été remarqué depuis longtemps par les auteurs qui se sont intéressés à la région (Bordet, 1943; 1966). Son étude détaillée a été entreprise depuis quelques années, en particulier dans le cadre des levés géologiques de la nouvelle édition de la feuille Fréjus-Cannes à 1/50 000 (Delfaud *et al.*, 1987; 1989; Toutin-Morin inédit; Toutin-Morin *et al.*, en cours).

Il culmine à 370 m.

Son soubassement est constitué par la Formation de la Paro, de couleur jaune (pyrite abondante) et par la Formation de la Valette, à matrice argileuse rouge abondante; ces deux formations, faciès latéraux grossiers, respectivement de la Formation du Mitan et de la base de la Formation du Muy, affleurent au SW du Rocher. La majeure partie du cône, qui constitue le Rocher proprement dit, correspond à la Formation de la Serre, faciès latéral grossier et localement silicifié du sommet de la Formation du Muy qui occupe, quant à elle, le centre du Bassin du Bas-Argens (fig. 5).

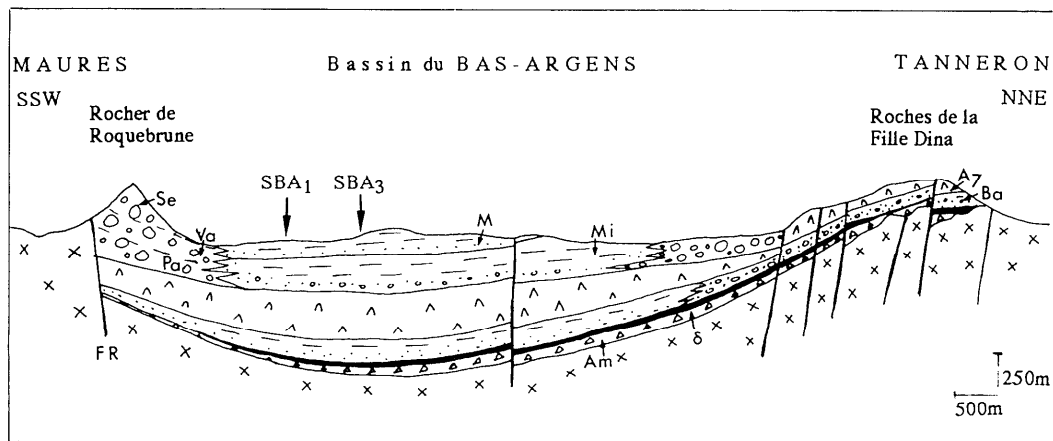


Fig. 3. - Coupe N-S dans le Bassin du Bas-Argens.

AA : coulées volcaniques acides; delta : volcanisme basique; x x : socle; delta delta : brèches; o o : conglomérats; .... grès; --- argiles; FR : faille de Roquebrune;

SBA sondage; Am : Formation d'Ambon; Ba : Formation de Bayonne; Mi : Formation du Mitan; Pa : Formation de la Paro; M : Formation du Muy; Va : Formation de la Valette; Se : Formation de la Serre;

Fig. 3. - N-S Cross section of the Lower Argens Basin.

AA : acidic volcanic lava flows; delta : basic volcanism; x x : basement;

delta delta : breccia; o o conglomerates; .... sandstone; --- clay; FR: Roquebrune fault;

SBA well; Am: Ambon Formation; Ba: Bayonne Formation; Mi: Mitan Formation; Pa: Paro Formation; M: Muy Formation; Va: Valette Formation; Se: Serre Formation.

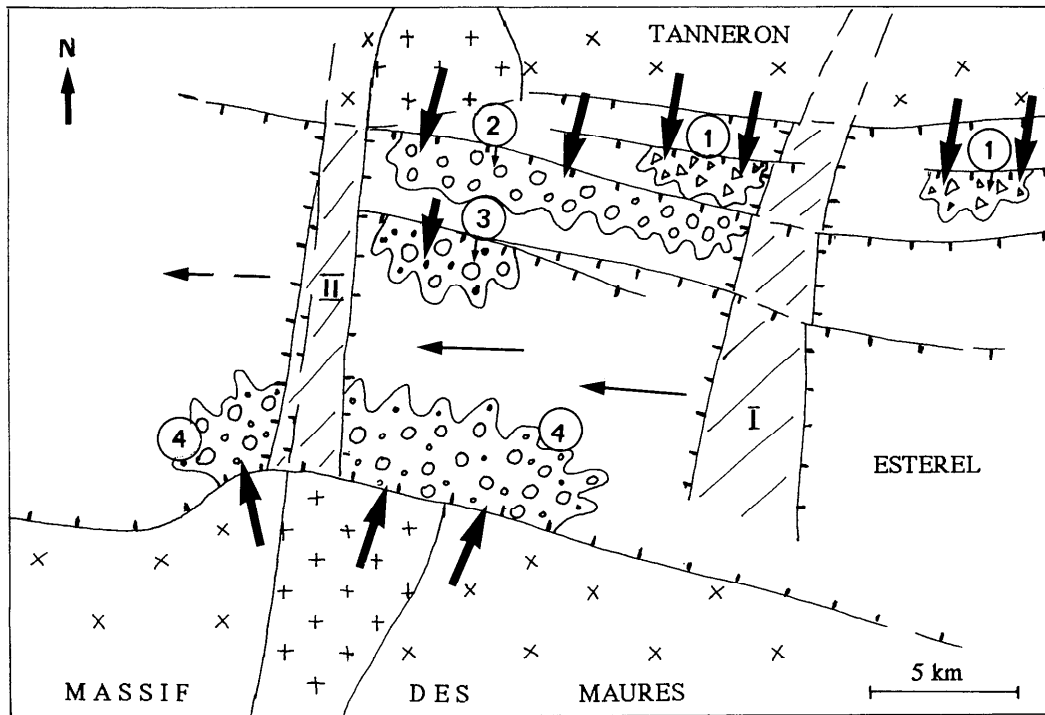


Fig. 4. - Situation des cônes sur les bords du Bassin du Bas-Argens (d'après Delfaud *et al.* 1987, 1989; Toutin-Morin et Bonijoly, 1992, complété).

Bord nord : 1 : Formation d'Ambon ; 2 : Formation de Bayonne ; 3 : Formation du Mitau ; bord sud ; 4 : Formation de la Serre ; ++ : granite ; x x : socle cristallophyllien ; // // seuils : I du Reyran, II du Muy ; ⊥⊥⊥ Faille normale ; ➔ apports de matériel grossier ; ➞ apports de matériel fin ;

Fig. 4. - Location of the alluvial fans on the edges of the Lower Argens Basin (from Delfaud *et al.*, 1987, 1989; Toutin-Morin and Bonijoly, 1992, with additions.)

Northern edge: 1: Ambon Formation; 2: Bayonne Formation; 3: Mitau Formation; Southern edge: 4: Serre Formation ++: granite; x x: metamorphic basement; // // sills: I Reyran, II Muy ⊥⊥⊥ Normal fault; ➔ coarse-grained material input; ➞ fine-grained material input

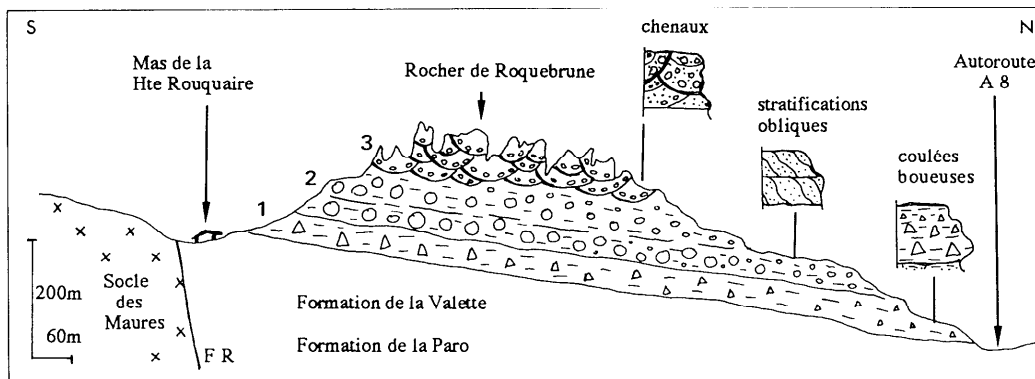


Fig. 5. - Coupe N-S du Rocher de Roquebrune. 1: membre inférieur; 2: membre médian; 3: membre supérieur; Δ Δ : brèches ; o o : conglomérats ; x x socle varisque;

Fig. 5. - N-S Cross section of the Rocher de Roquebrune. 1: Lower Member; 2: Middle Member; 3: Upper Member Δ Δ: breccia; o o: conglomerates; x x: Varsican basement

La Formation de la Serre plonge de 18° environ vers le nord. Son épaisseur est voisine de 250 m. Une coupe transversale permet d'observer les trois membres qui composent le Rocher de Roquebrune :

- le membre inférieur est mal stratifié et très mal classé. Au sud, le long de la faille de Roquebrune, il correspond à une brèche de piedmont d'abord très grossière, puis qui s'affine en montant dans la série. La matrice, rouge, est légèrement argileuse. Les galets de granite, très anguleux, ne sont pas jointifs; vers le nord, certains sont redressés (indices de coulées boueuses) et

indiquent une alimentation depuis le sud. De 80 cm de long au sud, leur taille diminue rapidement vers le nord et ne dépasse pas 30 cm en bordure de l'autoroute :

- le membre médian constitue des falaises aux formes arrondies et à érosion en taffoni. Les bancs, épais, métriques, sont formés de sable grossier et bien lavé, à « paquets » de galets de granite jointifs et mal classés dont la taille varie entre 20 à 50 cm ;

- le membre supérieur forme la barre sommitale, d'aspect ruiniforme : au sommet, sa limite n'est pas visible en raison de l'érosion. Il est bien stratifié et

mieux classé que les précédents. Des litages obliques chenalisés apparaissent. Les galets de granite sont plus rares tandis qu'un sable à nombreuses baguettes de feldspaths blancs, peu corrodés, se développe.

Cette organisation verticale constitue une séquence de 3<sup>e</sup> ordre, classique d'un cône dans lequel on observe des faciès de coulées boueuses distales à la base, des assises médianes épaisses et des niveaux à tendance torrentielle, chenalisés, au sommet.

### Évolution horizontale

La disposition cartographique actuelle montre un monoclinal plongeant vers le nord et redressé au sud car délimité par la faille de Roquebrune, d'orientation plus ou moins est-ouest.

L'édifice est découpé en panneaux par des accidents subméridiens et les trois membres ne sont conservés que dans la partie centrale du cône (fig. 6).

Des pans glissés du membre supérieur apparaissent par place sur le flanc nord tandis qu'un gros bloc faillé semble avoir basculé vers l'est, entre le vallon de la Maurette et le cimetière de Roquebrune-sur-Argens, secteur qui correspond d'ailleurs à une zone de socle perturbée (Crévola, *in* nouvelle édition de la feuille Fréjus-Cannes à 1/50 000, à paraître).

Enfin, le pendage synsédimentaire passe d'une orientation vers le NE dans la partie orientale, à une orientation vers le NW dans la partie occidentale du cône, accentuant l'aspect en éventail de l'ensemble.

Au sud de la faille de Roquebrune, le granite de Plan-de-la-Tour (daté à environ 325 Ma par Roubault *et al.*, 1970) a fourni l'essentiel des galets à la plus grande partie de l'édifice. Vers l'est apparaissent des éléments du socle cristallophyllien (gneiss et micaschiste) contre lequel le cône s'appuie dans ce secteur, ainsi que des blocs de rhyolite A<sub>7</sub> à la base du membre inférieur.

Vers le nord-ouest et l'ouest, les rapports avec les terrains environnants sont peu visibles à l'affleurement mais les sondages SBA de la COGEMA ont montré le passage aux formations fines du Mitan et du Muy. Vers l'est (Roquebrune-sur-Argens) et au NE (secteur de Vérignas), on observe l'indentation des conglomérats du membre inférieur dans les sables et les argiles gris-vert de la Formation du Muy, observations qui confirment donc le passage latéral du cône aux séries fines du centre du bassin.

Ces observations prouvent l'appartenance du Rocher de Roquebrune aux formations du sommet du Permien supérieur et non à la base de la série permienne comme cela a été longtemps supposé (Boucart, 1971).

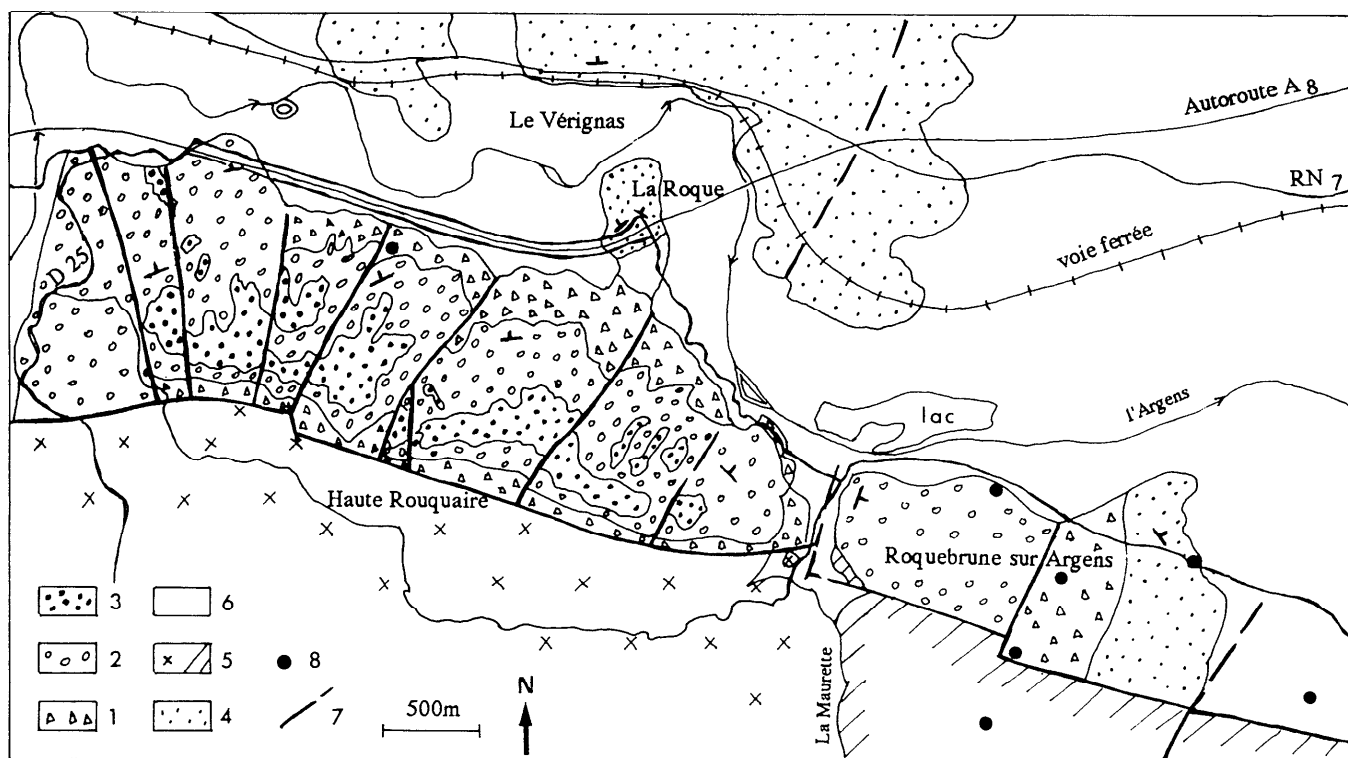


Fig. 6. - Carte détaillée du Rocher de Roquebrune.

Formation de la Serre : 1: membre inférieur ; 2: membre moyen ; 3: membre supérieur ; 4: Formation du Muy = équivalent latéral fin de la Formation de la Serre ; 5: socle ; x x: granite de Plan-de-la-Tour ; ///: cristallophyllien du massif des Maures ; 6: alluvions quaternaires (les éboulis ne sont pas représentés) ; 7: faille ; 8: chapelle.

Fig. 6. - Detailed map of the Rocher de Roquebrune.

Serre Formation: 1: Lower Member; 2: Middle Member; 3: Upper Member; 4: Muy Formation = lateral equivalent of the top of the Serre Formation; 5: basement; x x: Plan-de-la-Tour granite; ///: metamorphic rock of the Maures Massif; 6: Quaternary alluvions (scree is not represented here) 7: fault; 8: Church.

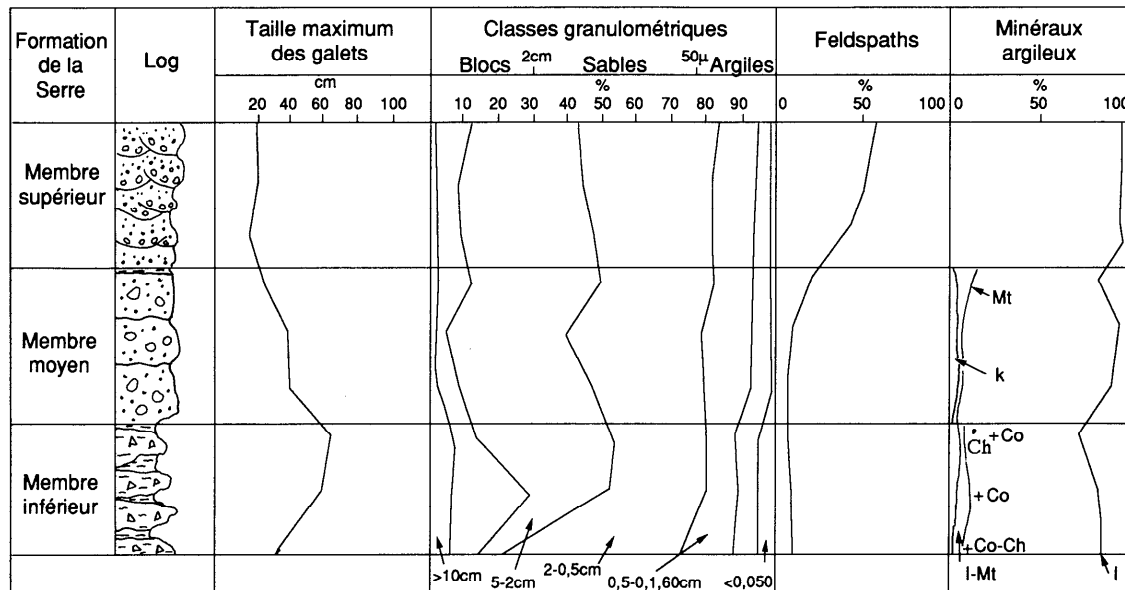


Fig. 7. – Caractères sédimentologiques de la Formation de la Serre.

Minéraux argileux : I-Mt interstratifié Illite-Montmorillonite ; I Illite ; Co Corrensite ; Ch Chlorite ; K Kaolinite.

Fig. 7. – Sedimentological characteristics of the Serre Formation.

Clay minerals : I-Mt mixed layer Illite-Montmorillonite ; I : Illite ; Co : Corrensite ; Ch : Chlorite ; K : Kaolinite.

### Données sédimentologiques

La figure 7 illustre les caractéristiques pétrographiques et minéralogiques principales des sédiments qui constituent le Rocher.

#### Le matériel grossier

Les blocs présentent deux maximums : l'un à la base de la série, l'autre au sommet du membre médian, avant la chenalisation du système.

La taille des galets est maximale dans les coulées boueuses de la base. Elle décroît ensuite.

La phase fine, silto-argileuse, diminue avec la disparition des coulées. La matrice argileuse est localement abondante dans le membre inférieur ; elle est très réduite dans le membre supérieur.

Le ciment des grès et conglomérats devient fréquemment silicifié dans le membre supérieur, expliquant à la fois son aspect déchiqueté et l'état de conservation du cône.

C'est donc le type de transport qui est responsable de l'évolution de la taille des éléments qui restent toujours de nature granitique.

#### Les minéraux argileux

Le stock varie peu.

L'illite est le minéral dominant ; elle est toujours abondante mais mal cristallisée et assez dégradée.

Il existe une faible quantité d'interstratifiés illite-montmorillonite dans le membre inférieur et de montmorillonite dans les membres inférieur et médian. Dans quelques niveaux du membre inférieur apparaissent des traces de corrensite (en rapport avec l'arrivée de produits volcaniques dans le bassin) ou de chlorite.

La kaolinite est quasi absente, prouvant que les feldspaths ne sont pas altérés, phénomène normal puisque les baguettes de feldspaths, fraîches, à peine cassées et

de grande taille, atteignent 50 % de la phase détritique dans le membre supérieur ; quelques traces se manifestent cependant dans le membre médian. En revanche, elle existe toujours dans la Formation du Muy, en même temps que la chlorite qui devient localement abondante.

Au total, il nous faut insister sur le peu d'évolution de tout ce matériel, déposé en fait, très près de son lieu d'origine, après une érosion brutale des reliefs nourriciers.

### Histoire géodynamique

#### Evolution sédimentaire

Sur les bords du bassin, le démantèlement des reliefs environnants (massifs varisques au nord et au sud, seuils à l'est et à l'ouest) est à l'origine du dépôt de conglomérats à blocs et galets de gneiss et micascistes (principalement). Lorsqu'on s'éloigne des bordures, la taille des éléments diminue et les grès dominent. Au centre du bassin, les sédiments fins et argileux décantent lentement tandis que, dans les lacs, les carbonates (calcaires et dolomies, en bancs ou en lentilles) se développent.

A chaque réajustement tectonique correspondent une reprise de l'érosion et de nouveaux apports de matériel grossier. Aux éléments cristallophylliens, prépondérants au début des dépôts, s'ajoutent alors des roches sédimentaires arrachées aux formations antécédentes et/ou des roches volcaniques (galets de rhyolite A<sub>7</sub>, au nord du bassin, après son effondrement au début de la Formation des Pradineaux et la mise en relief de cette rhyolite).

En même temps, la subsidence du bassin se développe. Elle est particulièrement forte de part et d'autre du seuil du Muy pendant le dépôt des formations du

Mitan et du Muy et à l'ouest du seuil pendant le dépôt de la Formation de la Motte.

À la fin du Permien, les indices de confinement et d'assèchement se multiplient et les sédiments fins dominent : le Bassin du Bas-Argens est comblé.

### Le climat

Les restes végétaux (bois, pollens et spores) sont abondants dans la Formation du Muy ; des traces de vertébrés tétrapodes ont été récoltées au-dessus de la rhyolite A<sub>7</sub>, dans les formations des Pradineaux, du Mitan et du Muy ; enfin, les pistes et les terriers d'invertébrés sont nombreux dans les niveaux fins et montrent une activité biologique intense en bordure des plans d'eau. Toutes ces marques de vie (Demathieu *et al.*, 1992) et les caractères de la sédimentation (Toutin-Morin, 1987b) indiquent des dépôts sous climat tropical chaud avec alternances de phases humides (rides de courant, empreintes de gouttes de pluie) et de périodes sèches (présence de fentes de dessiccation) ; des plans d'eau (lacs, mares aux rives marécageuses ou simples flaques) sont installés de façon durable dans le centre des bassins (présence d'amphibiens inféodés à l'eau). Vers la fin du Permien, le climat devient plus chaud et plus sec (prédominance des reptiles) et le rôle du vent augmente beaucoup (nombreux quartz éolisés).

La présence de saisons contrastées favorise la formation des cônes alluviaux. La richesse du Rocher de Roquebrune en feldspaths frais traduit une désagrégation lente du granite de Plan-de-la-Tour et une hydrolyse limitée qui peut être liée à une ambiance fraîche de pied de relief. Enfin, l'existence des hauts-reliefs bordiers favorise les averses catastrophiques qui édifient des amas de débris mal évacués et entraînent sur leur passage la végétation qui se développait sur les versants arrosés pour les accumuler plus bas dans la vallée (présence de troncs entiers au pied du Rocher ; Mari, 1979).

### La tectonique

Après la compression qui a marqué le Carbonifère supérieur, plissant en synclinaux étroits les bassins du Reyran et de Plan-de-la-Tour installés le long de grands accidents N-S, la distension débute, en Provence orientale, au Permien inférieur (Toutin-Morin et Bonijoly, 1992) et de petits fossés orientés NNW-SSE s'ouvrent alors au NW de l'Estérel : grabens de l'Avellan et de l'Argentière.

Une nouvelle phase compressive, sans doute située à la limite Autunien-Saxonien (Toutin-Morin, 1987a), provoque le basculement des séries autuniennes ; un volcanisme basique calco-alcalin se met en place à cette époque au NW de l'Estérel (Cabanis et Toutin-Morin, 1992).

Au Permien supérieur, une extension N-S caractérise la région, produisant la montée d'un volcanisme alcalin important (Boucarut, 1971). Les bassins se comportent d'abord comme des bassins intramontagneux classiques (bassins tardi-orogéniques) ; puis, l'extension se généralise et, après l'émission des grandes masses de rhyolites ignimbritiques, ils s'effondrent et fonction-

nent désormais en grabens distensifs (Estérel, Bas-Argens). L'activité des seuils N-S s'estompe progressivement et est supplantée par celle des marges E-W. Dans le Bassin du Bas-Argens, l'activité de la marge nord précède celle de la marge sud : les cônes du bord nord sont ainsi plus anciens que ceux du bord sud mais ils se déplacent progressivement vers le sud, en relation directe avec les effondrements successifs du bassin (fig. 4). Ce jeu différentiel des marges provoque la migration des dépôts-centre du nord vers le sud au cours du Permien supérieur et le rétrécissement progressif du bassin ; il va conduire à un fonctionnement en héli-graben au Thuringien (Toutin-Morin et Bonijoly, 1992) relevant alors le bord nord du bassin qui se trouve basculé vers le sud. Dans le même temps, la bordure sud est rehaussée, le long de la faille de Roquebrune dont l'activité est constante à cette époque, s'accompagnant de la formation de filons volcaniques de même direction et de la montée de fluides minéralisateurs qui produisent des minéralisations en fluorite, barytine, sulfures, uranium (Mari, 1979) ; l'abrupt ainsi créé sera partiellement ennoyé par le dépôt d'un cône de conglomérats au pied du massif des Maures : le Rocher de Roquebrune.

Cette forte activité tectonique concourt ainsi à l'édification d'un cône alluvial puissant, semblable à ceux qui jalonnent les bordures faillées des bassins intramontagneux.

## Place dans le Permien du sud de la France

### Organisation des bassins

La figure 8 montre la disposition actuelle des bassins permien dans le sud de la France (Châteauneuf et Farjanel, 1989). Ils s'organisent en fonction de trois motifs majeurs qui contrôlent leur fonctionnement :

- l'arc orogénique varisque, au nord, constitue la zone interne hercynienne, depuis le Massif armoricain jusqu'au Massif central, dessinant une virgation importante dans sa partie sud (Autran, 1980 ; Feys *in* Châteauneuf et Farjanel, 1989, p. 17-22),
- la proto-faille nord-pyrénéenne et la chaîne hercynienne des Pyrénées (Autran, 1980 ; Lucas, 1985),
- l'arc volcanique Corse-Sardaigne-Italie du Nord, au sud (Vellutini, 1977).

Ces bassins sont situés au pied des reliefs permien selon des situations diverses :

1. les bassins provençaux sont sécants sur les structures varisques N-S des massifs Maures-Tanneron (Toutin-Morin et Delfaud, 1987 ; Toutin-Morin et Bonijoly, 1992),
2. les bassins du sud du Massif central (Lodève, Saint-Affrique, Rodez) sont situés sur la bordure sud de la zone interne hercynienne ; ils sont à matériel fin dominant car disposés le long de reliefs déjà usés au Permien supérieur.
3. les petits bassins rhombiques pyrénéens (en particulier, les bassins cruciformes de la Province atlantique) recoupent les structures nées de l'orogénèse médio à fini-carbonifère (Bixel et Lucas, 1983 ; Lucas, 1985).



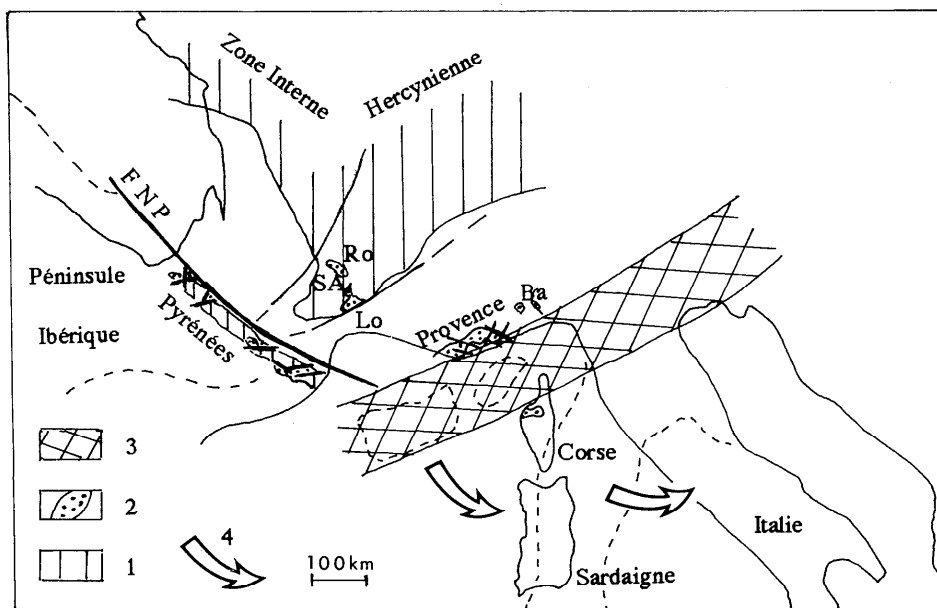


Fig. 8. – Le Permien du sud de la France (d'après les données de Bullard *et al.*, 1965; Châteauneuf et Farjanel, 1989; Lucas, 1985; Vellutini, 1977).

1 : socle varisque ; 2 : bassins permien ; 3 : arc volcanique permien ; 4 : déplacement post-Permien ; F N P : faille nord-pyrénéenne ; Ba : Dôme de Barrot ; Ro : Bassin de Rodez ; SA : Bassin de Saint Affrique ; Lo : Bassin de Lodève.

Fig. 8. – The Permian in the south of France (data from Bullard *et al.*, 1965; Châteauneuf and Farjanel, 1989; Lucas, 1985; Vellutini, 1977).

1: Variscan basement; 2: Permian basins; 3: Permian volcanic arc; 4: Post-Permian displacement; FNP North Pyrenees fault; Ba: Barrot Dome; Ro Rodez Basin; SA Saint Affrique Basin; Lo Lodève Basin.

Notons que le volcanisme décroît du sud au nord : les coulées et les appareils volcaniques sont bien développés en Provence et dans les Pyrénées tandis qu'au sud du Massif central, ce sont surtout des cinérites. De la même façon, dans le sédiment, le matériel est de plus en plus fin et les blocs grossiers anguleux sont rares ou absents.

### Les cônes sédimentaires

Tous ces bassins sont des bassins actifs, très subsidents, animés par une tectonique forte mais à activité différentielle des marges faillées au cours du Permien. Toutefois, en allant vers l'ouest, les cônes alluviaux diminuent en volume et en nombre.

Seuls peuvent être rattachés à ce motif sédimentaire les corps décrits dans la vallée de la Neste par C. Lucas (1985). Bien qu'ordonnés en séquences typiques, il s'agit là de corps aux dimensions réduites, sans comparaison avec la puissance des édifices formés au pied des Maures : le Rocher de Roquebrune représente actuellement une masse de 7 km de long pour 1,5 km dans sa plus grande largeur ; l'épaisseur totale du cône devait dépasser 500 m.

Il est vraisemblable que ces bassins se développaient dans la même zone climatique au Permien supérieur (Châteauneuf et Farjanel, 1989). La cause de la diminution du volume et du nombre des cônes alluviaux d'est en ouest doit donc être recherchée ailleurs, par exemple :

– dans la diminution d'importance (puissance, extension, relief...) des manifestations volcaniques (appareils, coulées),

– dans une baisse des altitudes des reliefs commandant les bassins. En effet, en plus de la diminution de la pente, des reliefs moins accentués n'ont pas pu générer des contrastes climatiques « majeurs », susceptibles de déclencher des écoulements catastrophiques lors des phases de « rupture » climatique.

### Conclusions

Le Rocher de Roquebrune est un édifice spectaculaire correspondant à un puissant cône alluvial, développé sur le rebord sud du Bassin du Bas-Argens au cours du Permien supérieur.

Ce corps sédimentaire est bien dégagé par l'érosion récente. Il fut épargné par la tectonique pyrénéo-provençale. C'est donc un remarquable modèle de cône alluvial. On reconnaît, sur une épaisseur de 250 mètres, les trois zones classiques qui constituent ce type d'édifice, l'ensemble dessinant une mégaséquence stratocroissante. Latéralement, cette accumulation de matériel grossier a une faible extension : quelques kilomètres. Elle s'intercale dans la sédimentation fine du Bassin du Bas-Argens.

Le contexte est celui d'un bassin intramontagneux, très subsident (taux d'accumulation supérieur à 300m/Ma), en rapport avec la tectonique. Dans les dépocentres, les sédiments, généralement fins, témoignent d'un enfoncement du bassin assez régulier. Par contre, l'édification du cône nécessite un espace disponible plurihectométrique, né du jeu d'une faille bordière

réactivée au cours du Permien supérieur par un basculement tardif du bassin.

Sur une telle pente, les apports étaient violents en raison de deux données morpho-climatiques : un climat à saisons contrastées et une forte érosion amplifiée par une mégatoposéquence édapho-pédologique allant d'un climat tropical pour les points bas jusqu'à une zone d'altitude à climat froid, subalpin à alpin.

Au total, cet « accident » détritique résulte de l'interférence de deux systèmes : une géométrie associée à un relief actif et un climat de « rhexistase », lui aussi partiellement lié à un fort relief. Ce sont les conditions des bassins intramontagneux, tardi-orogéniques, qui clôturent tous les grands cycles orogéniques.

## Références bibliographiques

- AREVIAN A., TOUTIN N., ROUSSEAU H., CAMPREDON R., DARS R. (1979). – Les séries continentales du Permien du Var. *Bull. BRGM, Fr.*, (2), Section I, n° 1, pp. 31-43.
- AUTRAN A. (1980). – L'évolution du Protérozoïque aux distensions post-hercyniennes. In *Géologie de la France, l'évolution structurale de la France, BRGM, 26<sup>e</sup> C.G.I., colloque C7*, pp. 8-17.
- BESLY B., COLLINSON J.D. (1991). – Volcanic and tectonic controls of lacustrine and alluvial sedimentation in the Stephanian coal-bearing sequence of the Malpas-Sort Basin, Catalonian Pyrenees. *Sedimentology*, **38**, pp. 3-26.
- BIXEL F., LUCAS Cl. (1983). – Magmatisme, tectonique et sédimentation dans les fossés stéphano-permiens des Pyrénées occidentales. *Rev. Géol. dynam. Géogr. phys.*, **24**, 4, pp. 329-342.
- BOERSMA M., VISSCHER H. (1969). – On two Late Permian plants from Southern France. *Mededelingen Rijks Geolog. Dienst.*, 20, pp. 57-63.
- BORDET P. (1943). – Observations sur le Permien des environs de Roquebrune-sur-Argens (Var). *C.R. Somm. Soc. géol. Fr.*, 6, pp. 63-64.
- BORDET P. (1966). – L'Estérel et le Massif du Tanneron. Hermann éd., Paris, 114 p.
- BOUCARUT M. (1971). – Etude volcanique et géologique de l'Estérel (Var, France). Thèse Doctorat ès-Sciences, Université de Nice, 2t., 487p.
- BULL W.B. (1972). – Recognition of alluvial-fan deposits in the stratigraphic record. In *Recognition of ancient sedimentary environments*, J.K. Rigby et W.K. Hamblin éd., *Soc. Econ. Paleontol. Mineralogists, Spec. Publ.*, 16, pp. 63-83.
- BULLARD E.C., EVERETT J.E., SMITH A.G. (1965). – The fit of the continents around the Atlantic. *Phil. Trans. R. Soc.*, **251**, A, pp. 41-51.
- CABANIS B., TOUTIN-MORIN N. (1992). – Mise en évidence du premier cycle volcanique calco-alcalin dans le bassin de l'Avellan (Estérel). 7<sup>e</sup> journées thématiques de l'A.G.P., Paris, volume des résumés p. 18.
- CHATEAUNEUF J.J., FARJANEL G. (1989). – Synthèse géologique des bassins permien français. Mém. BRGM., n° 128, 320 p.
- COLLINSON J.D., ELLIOTT T., READING H.G. (1978). – Environments and facies of sand bodies. *Sedimentary research associates*, Oxford, 234 p.
- DELFAUD J. (1984). – Le contexte dynamique de la sédimentation continentale. Modèles d'organisation. *Bull. Centres rech. Explor.-Product. Elf-Aquitaine*, **8**, 1, pp. 27-53.

Par son ampleur, par la taille des éléments, le Rocher de Roquebrune est un édifice exceptionnel dans le Permien du sud de la France. Ce caractère anormal s'explique par des conditions géodynamiques locales très actives. Il est sûr que la forte activité volcanique a également favorisé la genèse de ces sédiments catastrophiques. Les modèles actuels sont nombreux dans les chaînes récentes (Himalaya, Andes) où les catastrophes naturelles, directement ou indirectement liées aux reliefs volcaniques, accumulent en quelques heures d'épaisses séries détritiques. Là aussi, un matériel frais, apporté par des coulées boueuses, est retravaillé par les torrents pour constituer des cônes alluviaux qui s'intercalent dans les limons continentaux plus ou moins rubéfiés.

- DELFAUD J., TOUTIN-MORIN N., MORIN R. (1987). – Le cône alluvial permien du Rocher de Roquebrune (bordure sud du Bas-Argens dans le Var). 1<sup>er</sup> congrès français de Sédimentologie Paris, vol. des résumés, pp. 142-143.
- DELFAUD J., TOUTIN-MORIN N., MORIN R. (1989). – Un cône alluvial en bordure d'un bassin intramontagneux : la formation permienne du Rocher de Roquebrune (Bassin du Bas-Argens, Provence orientale). *C.R. Acad. Sci., Fr.*, **309**, 18, pp. 1811-1817.
- DEMATHIEU G., GAND G., TOUTIN-MORIN N. (1992). – La palichnofaune des bassins permien provençaux. *Géobios*, **25**, 1, p.19-54.
- EL WARTITI M., BROUTIN J., FREYTET P., LARHRIB M., TOUTIN-MORIN N. (1990). – Continental deposits in Permian basins of the Mesetian Morocco, geodynamic history. *J. African Earth Science*, **10**, 1/2, pp. 361-368.
- GERMAIN D. (1968). – Au sujet des bois silicifiés du Permien supérieur du Muy (massif de l'Estérel, Var, France). *Bull. Soc. belge Géol., Paléontol. Hydrol.*, **78**, 2-3, pp. 203-215.
- GLOPPENT T., STEEL R.J. (1981). – The deposits, internal structure and geometry in six alluvial fan-fan delta bodies (Devonian-Norway). A study in the significance of bedding sequences in conglomerates. In *Recent and ancient nonmarine depositional environments : Models for exploration*, F.G. Ethridge et R.M. Flores éd., *Soc. Econ. Paleontol. Mineralogists, Spec. Publ.*, 31, pp. 49-70.
- HERAIL G. (1984). – Les cônes de déjection : formes et sédiments. *Bull. Centres rech. Explor.-Product. Elf-Aquitaine*, **8**, 1, p. 135-150.
- LAVENU A., MAROCCO R. (1984). – Sédimentation continentale et tectonique d'une chaîne liée à une zone de subduction : l'exemple des Andes centrales (Pérou-Bolivie) pendant le Tertiaire. *Bull. Centres rech. Explor.-Product. Elf-Aquitaine*, **8**, 1, p. 57-70.
- LUCAS Cl. (1985). – Le grès rouge du versant nord des Pyrénées. Thèse Doctorat ès-Sciences, Université Paul Sabatier de Toulouse, 267 p.
- LUCAS Cl. (1987). – Fossés stéphano-permiens des Pyrénées : dynamique sédimentaire. *Ann. Soc. géol. Nord*, **106**, pp. 163-172.
- MARI G. (1979). – Mines et minéraux de la Provence cristalline. Ed. Serre, 258p.
- NILSEN T.H. (1973). – Devonian (Old Red Sandstone) sedimentation and tectonics of Norway. In M.D. Pitcher éd., *Arctic Geology, Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Oklahoma*, n° 19, pp. 471-481.

- NILSEN T.H. (1982). – Alluvial fan deposits. In Sandstone depositional environments. P.A. Scholle et D. Spearing éd. Amer. Assoc. Petroleum Geologists, Oklahoma, pp. 49-86.
- PAILHE P., THOMAS G. (1984). – Les enseignements de la morphologie et de la sédimentologie pour la définition des relations tectonique-sédimentation en domaine continental. Exemple de la chaîne ibérique et du bassin du Bas-Chêlif. *Bull. Centres rech. Explor.-Product. Elf-Aquitaine*, **8**, 1, pp. 71-84.
- READING H.G. (1978). – Sedimentary environments and facies. Blackwell Scientif. Publ. London, 569 p.
- ROUBAULT M., BORDET P., LEUTWEIN F., SONET J., ZIMMERMANN J.-L. (1970). – Ages absolus des formations cristallophylliennes des massifs des Maures et du Tanneron. *C.R. Acad. Sci., Fr.*, **271**, (D), 13, pp. 1067-1070.
- SINHA ROY S. (1981). – Alluvial fan model for the Himalayan piedmont deposits. *J. Geol. Soc. India*, **22**, pp. 164-174.
- STEEL R.J., MAEHLE S., NILSEN N., ROC S.L., SPINNAGER A. (1977). – Coarsening upward cycles in the Alluvium of Harnelen Basin (Devonian), Norway. *Bull. Geol. Soc. America*, **88**, pp. 1124-1134.
- TOUTIN N. (1980). – Le Permien continental de la Provence orientale (France). Thèse Doctorat ès-Sciences, Université de Nice, 2t., 594 p.
- TOUTIN-MORIN N. (1987a). – Contrôle tectonique et climatique de la sédimentation continentale dans le Sud-Est de la France à la fin de l'ère primaire. 1er congrès français de Sédimentologie Paris, vol. des résumés, pp. 317-318.
- TOUTIN-MORIN N. (1987b). – Les bassins permien provençaux, témoins de l'orogénèse hercynienne et de l'ouverture de la Téthys dans le Sud-Est de la France. *Ann.Soc.géol. Nord*, **106**, pp. 183-187.
- TOUTIN-MORIN N., BONIJOLY D. (1992). – Structuration des bassins de Provence orientale à la fin de l'ère primaire. *Cuadernos de Geologia Ibérica*, **16**, pp. 107-122.
- TOUTIN-MORIN N., DELFAUD J. (1984). – Un modèle de bassin continental intra-montagneux tardi-orogénique : le Permien du Bas-Argens (Var, France). *27<sup>e</sup> CGI Moscou*, S01.2.3., vol.1, pp. 195-196.
- TOUTIN-MORIN N., DELFAUD J. (1987). – Les facteurs du détritisme permien dans le Bassin du Bas-Argens (Provence orientale). *Géologie Alpine Grenoble*, Mém.h.s. n° 13, pp. 47-56.
- TOUTIN-MORIN N., BONIJOLY D., BROCARD C., DARDEAU G., DUBAR M. (1993). – Histoire post-hercynienne d'une mosaïque de blocs et de bassins en bordure des Maures et du Tanneron, du Carbonifère à l'actuel. *Géologie de la France*, n° 2, pp. 3-22.
- VELLUTINI P. (1977). – Le magmatisme permien de Corse du Nord-Ouest. Thèse Doctorat ès-Sciences, Université Aix-Marseille III, 317 p.
- VISSCHER J. (1968). – On the Thuringian age of the Upper Paleozoic sedimentary and volcanic deposits of the Esterel (Southern France). *Rev. Paleobot. Palynol.*, Elsevier Publish. Company, **6**, pp. 71-83.
- VOZENIN-SERRA C., BROUTIN J., TOUTIN-MORIN N. (1991). – Bois permien du Sud-Ouest de l'Espagne et du Sud-Est de la France. Implications pour la taxonomie des gymnospermes paléozoïques et la phylogénie des ginkgophytes. *Palaeontographica B*, Stuttgart, **221**, pp. 1-26, 7pl.
- WILLIAMS S. VAN (1982). – Tectonic tilting of mountain-front alluvial fans near the Saptakosi gorge, Eastern Nepal. In Verma U.E. et Saklani P.S. : Himalaya : Landforms and processes, today and tomorrow, Delhi, pp. 115-132.

## DÉCOUVERTE DU BASSIN D'ARCACHON PAR LA TÉLÉDÉTECTION SPATIALE

par

Yves Michel LE NINDRE et Philippe DUTARTRE

avec la collaboration de J.M. Bouchet, P.J. Labourg, A. Berthiaux, L. Minoux, F. Girault

Document du BRGM n° 215

Le Bassin d'Arcachon, par sa lagune abritée, son arborescence de chenaux et d'esteys, ses passes majestueuses, attire le naturaliste à plus d'un titre. Des marais où se cache le canard, jusqu'aux plages de l'Océan battues par la houle, une mosaïque d'environnements différents, mais interdépendants, constitue "le Bassin". Nursery et conservatoire de la faune et de la flore littorales, lagune vivant au rythme des marées, passes mouvantes où la houle et les courants luttent d'influence pour modeler les grands bancs, le Bassin est un modèle séduisant pour le Biologiste ou le Pétrolier.

Cet ouvrage en propose une découverte, à différentes échelles, à pied d'abord, avant de nous embarquer pour l'espace. Au fil des paragraphes, les différents environnements et biotopes naturels sont parcourus. Ils nous deviennent ainsi plus familiers avant d'en aborder la cartographie. Dans ce domaine, on voit les méthodes évoluer avec le temps, des cartes marines du XVII<sup>e</sup> siècle aux images futuristes du capteur spatial à haute résolution, en passant par la traditionnelle photo aérienne.

Les satellites actuels nous permettent de retrouver au sol des paysages connus, mais nous livrent aussi des images insolites. Une large place est faite à l'interprétation statique et dynamique des environnements littoraux : identification des milieux naturels, transits sédimentaires, hydrodynamisme, et à la reconstitution de leur évolution historique. C'est un ouvrage à la fois régional et méthodologique. Il est le fruit d'une collaboration entre biologistes, sédimentologues et spécialistes de la télé-détection spatiale.

**Prix de vente: 500 F + 35 F de frais de port et d'emballage**

En vente chez votre libraire habituel ou à défaut aux :

Éditions BRGM - BP 6009 - 45060 Orléans Cedex 2 - France Tél. : 38 64 30 28  
accompagné de votre titre de paiement



OUVRAGES EN FRANÇAIS      OUVRAGES EN ANGLAIS

**CATALOGUE 1994** SUR DEMANDE

## DICTIONNAIRE DES SCIENCES ET TECHNIQUES DU PÉTROLE

COMPREHENSIVE DICTIONARY OF  
PETROLEUM SCIENCE AND TECHNOLOGY

Anglais-Français / Français-Anglais  
M. MOUREAU, G. BRACE

1 vol., relié, 17 x 24, 1040 p. .... 970 F

## GLOSSAIRE DE STRATIGRAPHIE SÉQUENTIELLE

Anglais-Français  
C. CRAMEZ

Extrait de la Revue de l'Institut Français du Pétrole., 1990,  
n° 3 spécial Sismique. 1 brochure, 21 x 29,7. .... 70 F

## DICTIONNAIRE DE PROSPECTION SISMIQUE

DICTIONARY OF SEISMIC PROSPECTING

Anglais-Français / Français-Anglais

1 vol., relié, 13 x 21, 328 p. .... 410 F

## APPLIED PETROLEUM GEOCHEMISTRY

Edited by M.-L. BORDENAVE

1 vol., hardback, 190 x 275, 516 p. .... 785 F

## BACTERIAL GAS

Edited by R. VIALLY

1 vol., hardback, 210 x 275, 262 p. .... 560 F

## ROCK MECHANICS

Vol. 1. THEORETICAL FUNDAMENTALS

Ph.-A. CHARLEZ

1 vol., hardback, 170 x 240, 360 p. .... 560 F

## DYNAMIQUE ET MÉTHODES D'ÉTUDES DES BASSINS SÉDIMENTAIRES

Avec le concours de l'Association des Sédimentologues Français

1 vol., broché, 21 x 27, 468 p. .... 290 F

## ÉTUDE DE LA CROÛTE TERRESTRE PAR SISMIQUE PROFONDE

1. PROFIL NORD DE LA FRANCE

Tome 1. (texte) + Tome 2. (planches).

2 vol., brochés, 21 x 29,7, 288 p. .... 640 F

## GÉODYNAMIQUE DES CARAÏBES

CARIBBEAN GEODYNAMICS

GEODINAMICA DEL CARIBE

Sous la direction de A. MASCLE

Tome 1. (texte) 1 vol., broché, 21 x 29,7, 584 p.

+ Tome 2. (planches) 1 pochette, 21 x 29,7, 16 planches. .... 870 F

## GÉOLOGIE DES ESCARPEMENTS DE MÉDITERRANÉE ORIENTALE

MER IONIENNE

Programme "Escarmed"

1 vol., broché, 20,5 x 29,7, 360 p. .... 740 F

## ÉLÉMENTS DE PÉTROLOGIE DYNAMIQUE DES SYSTÈMES CALCAIRES

Tome 1. Description macroscopique et microscopique.

Diagenèse. Applications. 1 vol., relié, 21 x 27, 240 p.

+ Tome 2. Atlas photographique. 1 vol., relié, 21 x 27, 216 p. 1065 F

## CARTE BATHYMÉTRIQUE DE LA MARGE CONTINENTALE AU LARGE DU DELTA DU RHÔNE GOLFE DU LION

1 carte pliée, 21 x 29 (format plano 102 x 151,2),

échelle au 1/200 000. .... 495 F

## CARTE GÉOLOGIQUE DE L'ANTARCTIQUE AU 1/2 500 000

1 carte en 7 coupures, échelle 1/2 500 000, projection stéréo-  
graphique polaire, 63,5 x 77,5, 3 couleurs, légende détaillée.

1 carte montrant l'ensemble du réseau des principaux linéa-  
ments, échelle 1/10 000 000, 63,5 x 77,5, 2 couleurs, notice

explicative, 21 x 27, 24p. .... 885 F

## CARTE GÉOLOGIQUE DES CARAÏBES AU 1/2 500 000

GEOLOGICAL MAP OF THE CARIBBEAN

1 carte en deux coupures, 90 x 120, 12 couleurs,

légende détaillée. .... 1000 F

## NORMALISATION DES FIGURÉS, SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS UTILISÉS EN EXPLORATION ET PRODUCTION PÉTROLIÈRES

3<sup>e</sup> édition entièrement renouvelée

1 vol., broché, 21 x 27, 160 p. .... 340 F

## PETROLEUM AND TECTONICS IN MOBILE BELTS

4th IFP Exploration and Production Research Conference

Edited by J. LETOUZEY

1 vol., hardback, 210 x 275, 224 p. .... 370 F

## THE POTENTIAL OF DEEP SEISMIC PROFILING FOR HYDROCARBON EXPLORATION

5th IFP Exploration and Production Research Conference

Edited by B. PINET and Ch. BOIS

1 vol., hardback, 210 x 275, 502 p. .... 615 F

## PRINCIPAUX TYPES DE CARTES EN GÉOLOGIE

BUT. UTILISATION. ÉLABORATION

1 vol., broché, 21 x 27, 360 p. .... 770 F