

Paléogéographie, karstologie et bauxitogenèse en Provence

Cl. ROUSSET

Les bauxites de Provence, latérites d'argiles évoluées sur des karsts paléo-insulaires (bombement varois, Alpilles) pendant le Cénomanién inférieur, ont été remaniées et re-sédimentées, en milieu aquatique ou non, grâce à l'évolution du karst tropical vers son stade sénile. L'auteur définit ainsi un cycle karstique bauxitique complet, parachevé lors de la transgression du Crétacé supérieur — et donc, à une période différente suivant le point considéré. L'intervention du karst permet seule d'expliquer des aspects apparemment contradictoires de la sédimentation : transport sur de faibles distances, classement, remaniements par voie chimique. La genèse de bauxite proprement dite ne s'est pas poursuivie au-delà du Cénomanién — mais les rapports du sédiment hydroxydé alumineux avec les concentrations d'argiles kaoliniques, formées pendant un laps de temps beaucoup plus long, sont envisagés. L'auteur rappelle le caractère inadéquat de l'hypothèse « isthme durancien » et fait le point des données paléogéographiques, dans l'état actuel des connaissances.

Les bauxites « calcaires » de Provence appartiennent à une zone métallogénique étendue des Pyrénées au massif alpin. Dans cette zone, le minerai n'est pas toujours de même âge. Des progrès récents ont été faits dans la connaissance stratigraphique et sédimentologique des gisements. Ils ne vont pas toujours de pair avec une reconstitution satisfaisante des conditions paléogéographiques de la mise en place — ni avec une interprétation cohérente concernant les matériaux originaux. A l'occasion de travaux sur les karsts du sud-est de la France, j'ai examiné les problèmes théoriques soulevés par l'existence de la bauxite. Je voudrais ici, surtout, souligner le rôle irremplaçable de la karstologie dans la compréhension de l'évolution des sols bauxitiques — puis de la mise en place du minerai alumineux — au Crétacé moyen, en Provence.

1. NATURE ET ORIGINE DES BAUXITES DE PROVENCE; TRAITS PALÉOGÉOGRAPHIQUES GÉNÉRAUX

Je n'insisterai pas sur la nature minéralogique des bauxites qui a fait l'objet de nombreuses études. Le matériau est plus ou moins riche en kaolinite ; il ressort notamment des études de S. Caillère et Th. Pobeguine que, parmi les hydroxydes d'aluminium, si la boehmite

domine généralement, la gibbsite est plus fréquente dans les Alpilles que dans la région du Var. Enfin, il y a discussion sur la situation du fer que l'on rencontre sous la forme d'hématite, surtout, et de goethite — mais aussi, d'après S. Caillère et Th. Pobeguïn, dans le réseau d'hydroxydes d'aluminium. Dans beaucoup de gisements, on peut noter une répartition par couches du minéral silicaté (surtout au mur) et hydroxydé (masse principale).

Le minerai gît en couches plus ou moins épaisses (Mazaugues, le Val, les Baux) ou en poches isolées (Allauch, le Revest, nord de l'aire), sur un mur calcaire ou dolomitique.

1.1. Origine

Parmi les nombreuses théories sur l'origine des bauxites de Provence, il en est une qui concilie les arguments de terrain, la simple logique et les exigences scientifiques strictes. C'est la théorie que j'ai qualifiée de *parallochtoniste* et dont le fil rouge, depuis les anciens géologues provençaux, tel Collot, puis les minéralogistes (M. Arsandaux, A. Lacroix), marque la ligne de la réflexion paléogéographique conséquente.

En effet, les bauxites de Provence gisent sur un mur calcaire, dans la position stratigraphique où se trouvent latéralement des marnes ou des argilites grés-glaucnieuses appartenant au Crétacé inférieur et, singulièrement, à l'Aptien-Albien. Or, M. Arsandaux décrit des latérites d'argiles développées aux dépens de marnes, dans la boucle du Niger. J'ai pu montrer que, sous un climat humide et chaud, des marnes ou des grès glauconieux ont donné naissance aux *terra-rossa* kaoliniques: à Caussols (A.-M.), une telle filiation s'observe entre dépôts marins du Néocomien et du Cénomanien et terres rouges évoluées sur des calcaires jurassiques; l'époque de pédogenèse est, dans ce cas, ponto-pliocène.

On peut proposer une classification des théories basée sur une dicotomie principale: origine des matériaux dans les résidus de décalcification du calcaire du mur — ou autre origine. L'on a ainsi:

1.1.1. Théories *autochtonistes* (décalcification du mur calcaire)

Type de Lapparent: autochtonie absolue;

type A. Bonte: parautochtonie.

1.1.2. Théories *allochtonistes* (apports étrangers au calcaire)

a) Types purs: allochtonie absolue (apports d'un « socle » crist.)

1^{er} sous-type: Massif Central et Cévennes

variété E. Roch-I: transport éolien;

variété P. Demangeon: transport aquatique.

2^e sous-type: Maures-Tanneron-Estérel

variété I. Valetton: cours d'eau E-O provenant des Maures;

variété E. Roch-II: cours d'eau SE-NO (Estérel).

b) *Parallochtonistes* (apports de la couverture sédimentaire)

1^{er} sous-type: niveaux inférieurs de la couverture

Nicolas et coll.: emprunts aux basaltes du Trias;

2^e sous-type: niveaux superposés aux couches karstifiables

parallochtonistes sensu stricto.

Cette dernière thèse a donc ma préférence, pour les raisons suivantes principalement:

1^{er}) existence d'une couverture marneuse, riche en Al, Fe et Si, sur les masses calcaires juraco-crétacées avant l'émersion du Crétacé moyen;

2^e) passage latéral de la bauxite aux niveaux marins du Cénomanien et biseau d'érosion concomitant de l'Aptien-Albien;

3^e) existence, sur les Maures et les Cévennes, à la même époque, d'une couverture jurassique importante;

4^e) existence, au Cénomanien, d'un bras de mer séparant les massifs cristallins méridionaux de l'aire bauxitique (J. Philip);

5^e) démonstration de la possibilité de la kaolinisation sur calcaire à partir des marnes glauconieuses remaniées (C. Rousset).

1.2. Traits paléogéographiques généraux

L'examen des limites d'affleurements et de la nature des toits et des murs me permet de proposer une allure générale du *bombement varois* (fig. 1) que des structures paléo-insulaires prolongeaient probablement au nord-ouest.

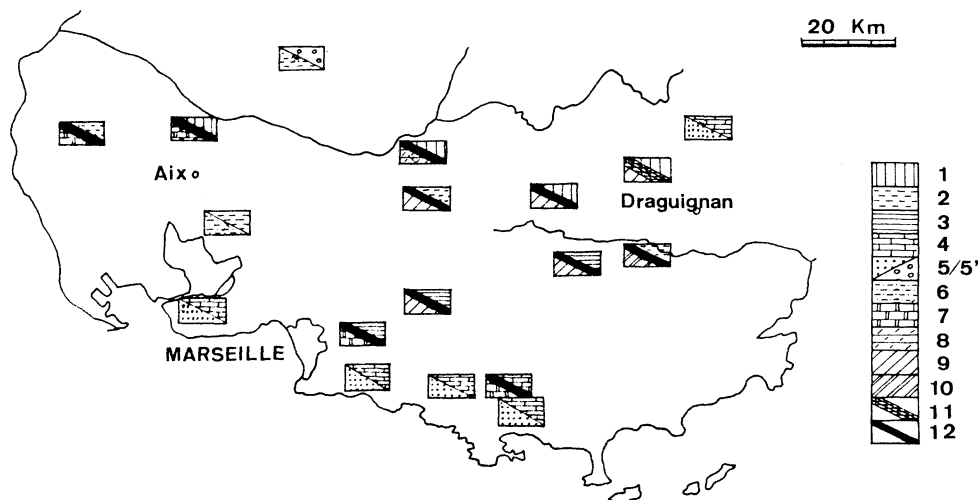


Fig. 1. — Le toit et le mur des bauxites de Provence
1. Rognacien. — 2. Fuvélien. — 3. Santonien marin. — 4. Cénomanién. — 5 et 5', Albien (sables creux d'Apt). — 6. Aptien. — 7. Barrémien. — 8. Hauterivién. — 9. Jurassique supérieur — 10. Dogger. — 11. argilites du Haut-Var (Bégudien?). — 12. bauxite

Une remarque s'impose d'abord: les contours proposés rendent compte de l'état actuel des affleurements. Or l'ensemble de la couverture secondaire et tertiaire, jusqu'à une ligne à peu près est-ouest passant peu au nord d'Aix-en-Provence, a été déplacé vers le nord. La valeur maximum du déplacement, au niveau des unités méridionales, peut atteindre une cinquantaine de kilomètres.

En effet, malgré la présence de niveaux de glissement (Trias moyen, Keuper), qui la désolidarisaient du socle, le mouvement a été accompagné d'un cisaillement de la couverture en unités allongées perpendiculairement à la direction de déplacement. Or, rien ne prouve que les différentes unités aient gardé la position relative qu'elles occupaient au départ. Ainsi, le horst d'Allauch n'a été découvert de l'allochtone de l'Etoile-Garlaban — d'origine plus méridionale mais dont la partie frontale est beaucoup plus déplacées vers le nord — qu'après les mouvements verticaux de la fin du Tertiaire (G. Guieu). Il semble vraisemblable de considérer le « synclinal » du Val-Vins comme une fenêtre analogue.

Par ailleurs, même lorsque les positions relatives suivant des axes nord-sud, parallèles au mouvement, sont respectées, il y a raccourcissement des ensembles paléogéographiques suivant ces mêmes axes (fig. 2).

L'on arrive ainsi à comprendre combien il est dangereux de déduire la paléogéographie de la période bauxitique de la lecture des cartes géologiques. Les structures tectoniques provençales s.str. (Eocène-Oligocène) puis mio-pliocènes ont donné à la Provence son allure zonée suivant des bandes est-ouest. Les contre-coups alpins oligocènes ont certes modifié un peu ce schéma entre-temps, mais il ne s'agissait que de déformations de fond à faibles implications tangentielles. Lorsqu'on définit des structures bauxitifères approximativement est-ouest, l'on ne fait rien de plus que de constater les déformations subies par la couverture surtout à l'Eocène (zone varoise) voire au Mio-Piocène (Alpilles).

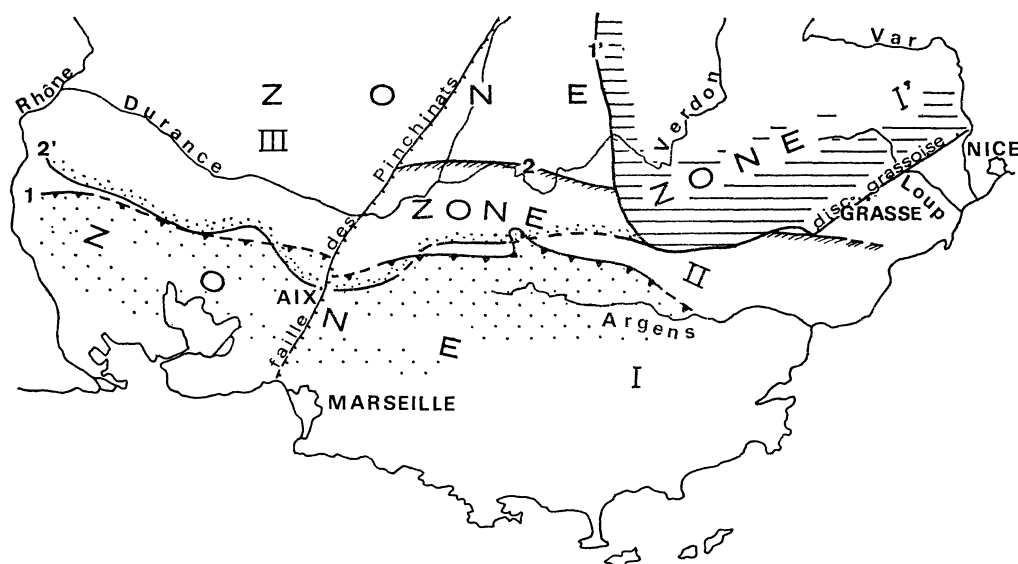


Fig. 2. — Zones tectoniques correspondant aux phases provençales (I, II et III) et subalpines (I', II' et III')
 I, I'. Zones de tectonique tangentielle importante. — II, II'. Plis et fractures avec poussée latérale.
 III, III'. Influence plus lointaine (plis verticaux, failles normales)
 Pour des raisons de clarté, les symboles II' et III' n'ont pas été notés: la zone II' s'étend entre les lignes 1
 Pour des raisons de clarté, les symboles II' et III' n'ont pas été notés: la zone II' s'étend entre
 les lignes 1' et 2' et la zone III' couvre le reste de la Basse-Provence. Noter la superposition fréquente
 du front 2' externe de la zone II' au front 1 de la zone I

Autrement dit, ces bombements qui nous apparaissent, dans le contexte actuel, allongés d'ouest en est, devaient être beaucoup plus trapus et même, allongés de façon sub-méridienne. Dans cette dernière hypothèse, le *bombement varois* correspond très exactement à l'axe surélevé *Maures-Pelvoux* de J. Goguel...

2. ROLE DU KARST DANS LA GENÈSE ET LA MISE EN PLACE DES BAUXITES

Certains auteurs arrivent actuellement à minimiser, voire à nier, le rôle de l'évolution karstique des massifs calcaréo-dolomitiques dans la mise en place des bauxites. Mon expérience des *terra-rossa* ponto-pliocènes de Provence et des minerais de fer de Beausoleil me conduit, au contraire, à envisager un rôle très important et original pour le karst.

2.1. Rôle du karst dans la genèse des bauxites

En phase hétérostasique, une fois réalisée l'érosion des marnes originelles et un premier affinage par décalcification (cf. mes observations sur les marnes remaniées de Caussols, *in* C.R., 1968), que pouvait-on attendre comme suite à l'évolution minéralogique? Ces résidus de marnes, presque uniquement constitués d'argiles, se regroupaient naturellement dans les creux topographiques. Les travaux des pédologues en Afrique nous permettent d'envisager, sur substrat imperméable ou peu perméable, une évolution vers des vertisols montmorillonitiques (conservation des phyllites de type M et restructuration = transformation des micas) ou vers des sols kaoliniques, suivant les conditions climatiques du drainage. Pour parvenir à la ferrallitisation, il faut adjoindre des conditions géologiques spéciales favorisant ce même drainage.

La surface de massifs calcaires en voie de karstification correspond bien à cette exigence. Silice et bases sont entraînées en solution dans le karst, ainsi qu'une partie du fer qui s'immobilisera aux pH usuels de la zone d'imbibition (7 à 8), sous la forme de goethite. Je tiens à souligner ici que, dans des cas aussi extrêmes, le karst se comporte comme un horizon B de sol, ce qui ne paraît pas être une notion bien classique...

2.2. Mise en place des bauxites

Mais le minerai ne correspond jamais à l'idée qu'on se fait d'une cuirasse alumineuse en place. J. Nicolas et ses collaborateurs ont montré, au contraire, qu'il s'agit toujours de matériaux remaniés. Il est même possible, parfois, d'observer des traces indiscutables de l'hydrodynamisme qui présida au dépôt, un *graded-bedding* et une structure sédimentaire résultant de l'inversion de profils d'altération. Le passage continu au toit, discuté par certains (J. Philip), paraît évident en certains points des mines de Mazaugues.

On rencontre donc des brèches et conglomérats bauxitiques et J. Nicolas, soulignant la faible résistance des cuirasses alumineuses à l'érosion et au transport, envisage un déplacement souvent très court, parfois un remaniement sur place. Cependant, les interventions chimiques ne sont pas absentes (S. Caillère).

D'autre part, les gisements de bauxite les plus importants se situent, en ce qui concerne le *bombement varois*, sur un mur relativement ancien, appartenant à la base du Jurassique supérieur, voire au Dogger. C'est-à-dire que la *surface d'érosion* élaborée avant le dépôt — et pendant la ferrallitisation — *présentait une concavité légère centrée sur la même zone que la convexité anticlinoïde des couches...*

Une telle inversion du relief a été réalisée grâce à l'établissement d'une nappe en réseau dont les conduits de drainage préférentiel correspondaient plus ou moins aux zones rompues par extension (cœur de la structure bombée). Dans ces conditions, c'est effectivement sur ces conduits que devaient s'installer les topographies en creux, au fur et à mesure de l'abaissement du niveau de la nappe. Celle-ci était naturellement drainée vers la mer voisine, probablement au sud-ouest, vers le secteur actuellement situé au sud immédiat du gisement du Revest (Toulon). Au nord, à l'ouest et, très vraisemblablement aussi à l'est (fig. 3), les décrans marneux subsistants (Crétacé inférieur) empêchaient un drainage vers les autres bordures maritimes.

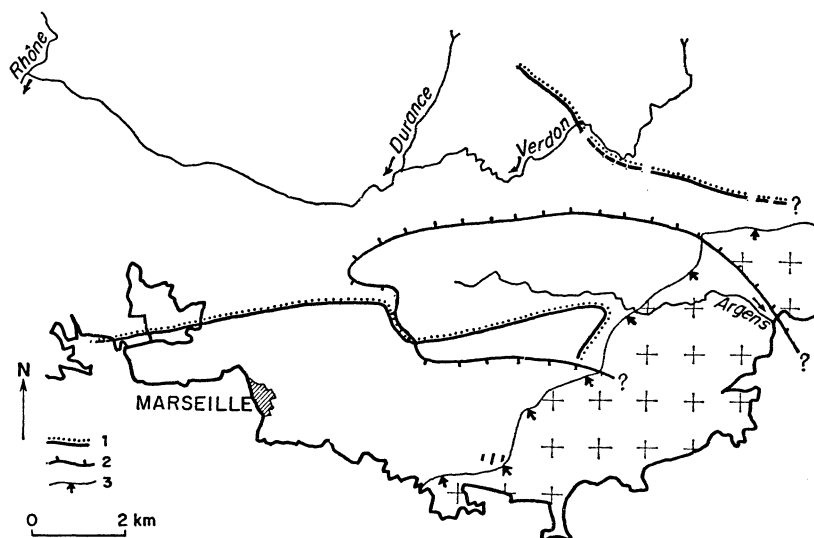


Fig. 3. — Mise en évidence du bombement varois par les limites paléogéographiques au Crétacé
1. Limite de la transgression du Crétacé supérieur. — 2. Ligne d'érosion du Crétacé inférieur lors de la formation des bauxites. — 3. Limite actuelle du socle primaire

Le remaniement mécanique relativement modéré, et la sédimentation aquatique des bauxites, s'expliquent dès lors par l'effondrement sur place du karst au cours de son évolution. Celle-ci, réalisée sous climat tropical humide, se poursuit par l'intermédiaire de karsts à cénottes et à tourrelles, jusqu'à la sénilisation complète: c'est-à-dire que la formation et le remaniement des bauxites correspond à un *cycle karstique* qui est l'un des deux cycles complets que j'ai pu déceler dans l'histoire de la Provence.

La fin de la genèse des bauxites coïncide avec le retour de la mer, d'abord par le seuil abaissé le Revest-le Val; l'équilibre entre le niveau topographique et celui de la nappe karstique, condition de l'état sénile du karst, est alors réalisé non seulement par la pédiplanation, mais aussi par la transgression des eaux. De plus, dans les niveaux en voie d'imprégnation par l'eau, le pH et les conditions chimiques générales favorisent la précipitation des ions Al arrivant en solution.

3. BAUXITE ET BAUXITOIDES

Est-ce à dire que la bauxitisation prend fin au Cénomaniien ?

L'on est gêné au premier abord, pour apporter une réponse, par la diversité de l'âge du toit, marin ou dulçaquicole, voire continental. Naturellement, il est plus ancien dans la partie axiale du bombement varois, qui était la plus déprimée pour les raisons que je viens d'exposer. Certains auteurs ne craignent pas d'étendre la période de la bauxitisation dans le Crétacé supérieur, étant donné l'âge bégudo-rognacien de certains toits (nord du Var, nord des Bouches-du-Rhône). Mais deux faits s'opposent nettement à une telle extension:

1^{er}) Jamais les sédiments du Crétacé supérieur ne contiennent de cuirasse alumineuse en place ni même d'éléments de croûtes (sauf, éventuellement au toit même des gisements; fait sans signification) qui pourraient s'être développées de façon pénécontemporaine de leur dépôt. On remarque, certes, des argiles kaoliniques, contenant parfois plus ou moins d'hydroxydes d'aluminium (G. Neau). Mais il s'agit, à l'évidence, du remaniement de gîtes formés très antérieurement.

2^e) Lorsqu'on rencontre des profils sédimentaires argileux avec cuirasses gravillonnaires, dans le Bégudien, ce sont des formations kaoliniques et ferrifères (hématite, goethite) développées dans des conditions sensiblement différentes de celles de la bauxitisation.

L'on est donc bien obligé d'admettre que l'évolution ferrallitisante des matériaux alumineux et ferrifères sur le karst, ne s'est poursuivie, en Provence, qu'au Cénomaniien (1). Au Crétacé supérieur, certains gisements, non scellés par des sédiments ou re-découverts, sont remaniés et on assiste à l'évolution de *bauxitoïdes kaoliniques* qui ont souvent passé pour des bauxites...

4. PALÉOGÉOGRAPHIE ET MYTHES PALÉOGÉOGRAPHIQUES

L'examen des cartes géologiques montre que les bauxites de Provence sont réparties en bandes à peu près est-ouest, mais que l'axe réunissant les principaux gisements est plutôt O-NO-E-SE. La répartition des terrains du Crétacé supérieur suit à peu près la même règle. J'ai dit plus haut qu'il n'y avait pas à s'en étonner étant donné la phase de compression majeure dirigée du sud vers le nord subie par la couverture.

(1) Avec, peut-être, début à l'Albien terminal, bien qu'une phase rhexistasique ait été reconnue par J. Philip à ce niveau en certains points (Evenos, Var).

Mais la présence, aux deux extrémités de la bande sédimentaire, des massifs cristallins et cristallophylliens a conduit à la reconstitution d'une unité paléogéographique: *l'isthme durancien*, patrie des bauxites de Provence, bordée au nord par la mer vocontienne, au sud, par le golfe de Basse-Provence et appuyée à l'O-NO aux Cévennes et à l'E-SE, aux Maures. Voici donc le lieu de la bauxitisation, isthme unissant le craton du Massif-Central au massif « Pyrénéo-Corso-Sarde » par l'intermédiaire des Maures. Dès lors, plus de problème d'apports de matériaux alumineux: ceux-ci viennent des deux extrémités, par des cours d'eau parallèles à l'allongement de l'isthme... Voici, bien entendu, qui suscite quelques critiques mais que dire de conceptions entraînant des apports perpendiculaires, de la mer vers le continent émergé...

En fait, il faut prendre en considération quelques faits:

1) L'« isthme » est constitué d'unités tectoniques empilées du sud vers le nord et dont la patrie se situe assez loin au sud de leur localisation actuelle. Son *apparence* est donc une conséquence des phases orogéniques éocènes et oligocènes.

2) Le massif des Maures, appui sud-oriental de l'isthme se trouvait, au Crétacé moyen, sous une couverture autochtone. Depuis, il a été débarrassé de cette *première couverture* par glissement tectonique — puis de sa *deuxième couverture*, charriée depuis le sud, par érosion consécutive à un exhaussement à l'Oligocène (J. Aubouin et G. Mennessier).

3) Les Cévennes, enfin, ne sont surélevées que depuis la fin du Miocène (phase tardi-tectonique); jusqu'au Quaternaire ancien, elles supportaient, au moins au sud des sources de l'Ardèche, une couverture jurassique dont les lambeaux sont conservés en altitude. D'ailleurs, relevons le jeu du décrochement de la faille des Cévennes (F. Proust, M. Mattauer et al.), le long de laquelle le prolongement de l'« isthme » a coulissé vers le nord-est, ce qui supprime toute continuité pré-tectonique entre les garrigues nîmoises et les Cévennes.

En conséquence, *le mythe tenace de l'isthme durancien* doit résolument laisser la place à la reconstitution minutieuse des bombements karstiques sur lesquels se sont développées les bauxites. Mais ceci exige un approfondissement des données structurales, stratigraphiques et sédimentologiques qui complétera les renseignements dont nous disposons maintenant sur le minerai lui-même.

Il reste encore un certain nombre de problèmes mal résolus en ce qui concerne les bauxites de Provence. Seule une collaboration entre les diverses disciplines géologiques et minéralogiques permettra d'apporter des réponses plus satisfaisantes et dont il n'est pas exclu qu'elles puissent intéresser, outre les théoriciens, les praticiens de l'aluminium.

BIBLIOGRAPHIE

- AUBOUIN (J.) et MENNESSIER (G.), 1960. — Essai sur la structure de la Provence, in Livre à la mémoire du Professeur P. Fallot, *Soc. Géol. Fr.*, Paris, 2, p. 45-98.
- ARSANDAUX (M.), 1913. — Contribution à l'étude de l'altération des roches silicatées alumineuses dans les régions intertropicales. *Bull. Soc. Fr. Min.*, t. XXXVI, p. 70-110.
- CAILLÈRE (S.) et POBEGUIN (Th.), 1965. — Considérations générales sur la composition minéralogique et la genèse des bauxites du Midi de la France. *Mém. Mus. Hist. Nat.*, Paris, Nouvelle série, C, t. XII, fasc. 4, p. 125-212, 6 pl. h. t.
- GOVERNET (C.), GUIEU (G.) et ROUSSET (C.), 1971. — La Provence. *Guides géol. régionaux*, Masson édit., Paris.
- GUIEU (G.), 1968. — Contribution à l'étude du cadre tectonique de Marseille. *Thèse*, Marseille.

- NEAU (G.), 1967. — Note préliminaire sur les argilites du Haut Var. *Bull. Soc. Géol. Fr.* (7), t. IX.
- NICOLAS (J.) et LECOLLE (M.), 1968. — Essai de reconstitution paléogéographique de la Provence au Crétacé supérieur. Position et âge possibles de la roche-mère de la latérite d'où provient la bauxite. *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 266, sér. D, p. 445-448, 1 fig.
- PHILIP (J.), 1970. — Les formations calcaires à rudistes du Crétacé supérieur provençal et rhodanien. *Thèse*, Marseille.
- ROUSSET (C.), 1968. — Contribution à l'étude des karsts du sud-est de la France : altérations morphologiques et minérales. *Thèse*, Marseille.

Université de Provence
Bât. D, 28, avenue Colonel-Schuler, 13100 Aix-en-Provence (France)