

Importance et caractères des phénomènes qui ont affecté les bauxites provençales après leur dépôt Modifications qu'elles ont subies

J. NICOLAS et P. BILDGEN

Les sédiments bauxitiques mis en place dans les dépressions morpho-tectoniques des surfaces carbonatées du sud-est de la France résultent du démantèlement, puis du transport, d'anciennes couvertures ferrallitiques.

Ces sédiments n'ont pas toujours conservé leurs caractères originels car ils ont subi, et continuent à subir, des modifications dues à des phénomènes diagénétiques et épigénétiques qui sont en relation :

- 1) *Avec la nature minéralogique du sédiment;*
- 2) *Avec la nature chimique des formations qui les recouvrent;*
- 3) *Avec la tectonique qui les affecte.*

On observe, ainsi, des modifications d'ordre physique (karstification, léger dynamo-métamorphisme), chimique (déplacement et reconcentration d'éléments) et minéralogique (néoformations de goethite, de gibbsite, de diaspre, etc.) qui confèrent à la bauxite la nature et le faciès qu'on lui connaît aujourd'hui.

Les nombreuses études réalisées sur les bauxites karstiques du sud-est de la France ont mis en évidence le caractère sédimentaire, conglomératique de ces formations. Il a été nettement souligné qu'elles représentent les vestiges d'une ancienne couverture ferrallitique démantelée, qui fut transportée puis déposée dans le milieu aqueux régnant dans les dépressions morphotectoniques des surfaces carbonatées (J. Nicolas, 1968 et 1969).

Ainsi que toutes les roches de ce type, elles ont subi pendant et après leur dépôt des phénomènes diagénétiques et épigénétiques plus ou moins importants qui ont contribué à donner à la bauxite son caractère actuel. Au cours de nos recherches il nous a été possible de constater que la part réservée, dans la littérature, à l'étude de ces phénomènes secondaires est relativement minime. Or, la méconnaissance de leur influence conduit parfois à des interprétations erronées concernant la véritable nature des couches bauxitiques étudiées ainsi qu'à des hypothèses génétiques compliquées. Il apparaît donc nécessaire de tenter une classification de ces transformations afin de mieux comprendre leur processus de réalisation et de dégager les caractères qu'elles impriment aux faciès des bauxites.

Le présent travail est la résultant de nombreuses observations de terrain et d'études de laboratoire au cours desquelles furent utilisées toutes les méthodes minéralogiques et géochimiques.

1. CARACTÈRES GÉNÉRAUX DES PHÉNOMÈNES SECONDAIRES

Les transformations diagénétiques et épigénétiques qui ont affecté les sédiments bauxitiques déposés dans le sud-est de la France existent dans tous les gisements que nous avons étudiés. Cependant, il faut immédiatement souligner que ces transformations ne présentent pas, en tous points, la même intensité et qu'elles ne résultent pas toujours du même processus de formation. C'est pourquoi on peut distinguer :

1° Les transformations en relation directe avec la nature minéralogique du sédiment déposé.

2° Les transformations résultant de l'influence mutuelle de la minéralisation bauxitique et de celle du toit qui la recouvre.

3° Les transformations liées à la tectonique des gisements.

De plus, dans bien des cas, on observe non pas un seul processus de transformation secondaire isolé mais la superposition d'un ensemble de transformations. Enfin, toutes les transformations secondaires résultent de manifestations chimiques qui se traduisent par des déplacements d'éléments, des néoformations qui ont donné à la bauxite l'aspect qu'on lui connaît aujourd'hui.

2. ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES SECONDAIRES

2.1. Transformations en relation directe avec la nature minéralogique du sédiment déposé

C'est le type de transformations le plus fréquent et dont l'extension est la plus importante au sein des nombreuses coupes bauxitiques étudiées. Il s'agit surtout de la remobilisation de certains éléments, en particulier du fer, de l'aluminium et d'une partie des éléments traces. Cette remobilisation est liée directement à la perméabilité du sédiment qui permet la percolation des eaux de surface à travers la masse bauxitique, provoquant ainsi un lessivage « per descensum » de certains ions et leur accumulation dans les niveaux inférieurs.

2.1.1. *Migration du fer*

Ce phénomène est particulièrement spectaculaire pour le déplacement du fer. En effet, cet élément présente plusieurs aspects au sein de la bauxite. Il existe soit sous forme d'hématite colorant en rouge vif ou en rouge sombre le ciment bauxitique (bauxite aphanitique), soit sous forme de nodules, rognons, ou gravillons également hématitiques de couleur noire ou brune, soit enfin sous forme de goethite, hydroxyde de couleur jaune clair ou verdâtre, que l'on observe dans le ciment et surtout dans le cortex des pisolithes, des oolithes et de certains galets situés au sommet des coupes.

La migration du fer est un phénomène banal qui s'effectue partout sous humus acide et en milieu réducteur. Ces conditions furent souvent réalisées dans les zones supérieures des dépôts bauxitiques dans lesquelles on observe des formations marneuses ou argileuses, riches en matières organiques, qui constituent les « faux toits » redoutés des mineurs en raison de leur instabilité, comme à Mazaugues (Var) dans les Alpilles (Bouches-du-Rhône), Péreille (Ariège). Cette déferri-fication apporte des modifications spectaculaires dans l'allure générale des coupes de bauxite. C'est le cas en particulier des bauxites à ciment kaolinique dans lesquelles la migration de la fraction de l'hématite ne se trouve, souvent, que partiellement réalisée. On observe alors l'apparition d'un réseau anastomosé de veinules blanches qui forment des traînées orientées suivant la direction dominante de la circulation des eaux, au sein de la masse bauxitique (photo n° 1). Nous avons effectué sur ce réseau de déferri-fication de nombreuses analyses; sa constitution chimique ne diffère, par rapport à la

bauxite rouge qui le contient, que par une très nette diminution de la teneur en fer. De telles zones ont été désignées sous le nom de bauxites « flammées », « tigrées » ou « léopard » (J. de Lapparent, 1930); cette qualification est essentiellement descriptive et leur présence ne peut en aucun cas permettre d'envisager, les concernant, un mode de genèse particulier, différent des autres termes de la formation bauxitique. Ces zones de déferrification sont particulièrement développées dans la région des Alpilles mais on les observe également dans le Var (gisements de Peygros, du synclinal de Val-Vins et de Mazaugues). De plus, le même processus s'effectue fréquemment à la base des coupes, où on observe souvent un fin liseré de déferrification affectant la bauxite aphanitique au contact mur-bauxite qui favorise la circulation de l'eau. Enfin, la déferrification du ciment est beaucoup plus complète vers le sommet des formations qui est soumis à l'influence plus directe des eaux provenant du milieu réducteur sus-jacent, ce qui entraîne la formation de « bauxite blanche ».

Le processus de migration du fer lessivé par les eaux percolant à travers les niveaux supérieurs provoque également des phénomènes secondaires qui peuvent suggérer une interprétation génétique erronée des coupes étudiées. C'est le cas de la formation des « faux-galets » *bauxitiques* (photo n° 2). Rappelons que les gisements du sud-est de la France sont riches en niveaux conglomératiques constitués par des blocs arrondis, des galets parfois aplatis et orientés, qui sont formés d'une bauxite souvent pisolithique et oolithique mais dont la structure interne et la composition chimique montrent bien qu'ils sont étrangers à la masse bauxitique qui les entoure. De plus, ces blocs et galets possèdent souvent un cortex qui les individualise nettement; ils attestent ainsi particulièrement du caractère détritique de la bauxite. Or, dans certaines coupes, en particulier lorsque celles-ci sont constituées par un ciment kaolinique et oolithique, il est possible d'observer, en coupe, des formes qui ressemblent aux galets décrits ci-dessus mais qui en diffèrent essentiellement par leur mode de formation. En effet, alors que les vrais galets sont des éléments issus du démantèlement puis du transport et du dépôt d'un matériel latéritique pré-existant, ces « faux-galets » résultent de la déferrification partielle du matériel bauxitique déjà déposé. Le fer déplacé s'agglomère localement pour former des concrétions qui constituent une sorte de poudingue intraformationnel. En revanche, la déferrification locale de la bauxite isole des zones de bauxite ferrugineuse plus foncée qui semblent alors se détacher de la matrice blanche. Dans ce cas, toutes les analyses effectuées montrent qu'en réalité la matrice et les « faux-galets » possèdent la même composition chimique et minéralogique, au fer près, comme dans le cas précédent. De plus, ces « faux-galets » ne possèdent jamais de cortex.

La déferrification totale ou partielle du sédiment bauxitique se traduit finalement dans les coupes par une même répartition verticale de certaines zones et de certains éléments. On observe dans de nombreux gisements la succession suivante:

A la base, une bauxite très kaolinique brun rouge (bauxite aphanitique) peu ou pas déferrifiée sauf au contact du mur. Elle s'enrichit à sa partie supérieure de gravillons hématitiques dépourvus de cortex. Cette formation présente ensuite l'aspect tigré ou flammé, plus ou moins développé, suivant les gisements. Elle se charge, de plus en plus, en éléments bréchiques, en galets, en oolithes et pisolithes dont les cortex, constitués de goethite, sont de faible épaisseur. C'est la zone du conglomérat bauxitique. Enfin, la partie supérieure des formations est généralement constituée par une bauxite très déferrifiée qui contient, outre les éléments décrits ci-dessus, des pisolithes dont le cortex goethitique devient de plus en plus épais au fur et à mesure qu'on se rapproche du toit de la formation. Parallèlement on constate la présence de goethite également répartie dans le ciment. Elle communique à ce dernier une coloration bistre ou verdâtre.

Une étude précise des formes gravillonnaires hématitiques et des pisolithes à noyaux hématitiques et à cortex de goethite a permis de mettre en évidence, notamment dans les Alpilles, l'existence d'une évolution progressive entre les formes gravillonnaires et les pisolithes ferrugineux. Ces observations amènent à penser que les pisolithes ferrugineux

dérivent des gravillons hématitiques suivant un processus d'altération en boule *procédant de façon centripète* (J. Nicolas et P. Bildgen, 1972). Cette altération se traduit essentiellement par une hydratation de l'hématite qui se transforme en goethite. Cette transformation est possible grâce au manque de cohésion qui existe entre les gravillons, les pisolithes et le ciment et qui permet à l'eau de percolation de s'infiltrer préférentiellement autour des sphérites et de procéder ainsi à leur altération. Le développement du cortex s'effectue aux dépens du noyau qui diminue corrélativement. Il existe ainsi un lien étroit entre la répartition des gravillons hématitiques et les pisolithes, d'une part, et les zones de déferri-fication d'autre part (P. Bildgen, 1973). Cette répartition est la suivante: dans les zones peu ou pas déferri-ficées on observe une nette prédominance des formes gravillonnaires alors que les zones les plus déferri-ficées possèdent des pisolithes dont les noyaux hématitiques disparaissent en même temps que se développe un cortex de plus en plus épais. Il en est de même pour ce qui concerne la formation des cortex entourant les oolithes, les galets, les blocs et les éléments bréchiques lorsque ceux-ci sont de nature ferrugineuse. De plus, dans le ciment, une partie seulement de la fraction hématitique est lessivée. Le reste de l'hématite se trouve également transformé en goethite. C'est pourquoi le ciment, vers le sommet des coupes, possède une teinte bistre ou rosée.

Le phénomène se complique lorsque de vrais galets ou de vrais blocs, possédant un cortex d'altération goethique, se trouvent situés dans une matrice elle-même goethitisée. En effet, il est parfois difficile de distinguer nettement la limite entre le cortex ainsi réalisé et le ciment qui présente la même teinte. Seule la partie hématitique, non altérée, tranche sur l'ensemble cortex-ciment et, alors, on peut constater que de *vrais galets sont « digérés » ou « assimilés » par la matrice* qui les entoure. Leurs contours s'estompant progressivement, ils peuvent être confondus avec les faux galets décrits plus haut.

Par conséquent, par le seul processus de migration du fer, les dépôts de bauxite peuvent présenter une zonalité verticale, soulignée par une déferri-fication per descensum et par une répartition progressive des formes gravillonnaires qui, progressivement, deviennent des pisolithes, cela par un processus minéralogique se traduisant par la formation de goethite aux dépens de l'hématite.

2.1.2. Migration de l'aluminium

Dans la plupart des gisements de bauxite du sud-est de la France l'aluminium est exprimé sous forme de boehmite. Cependant, l'étude géochimique et minéralogique systématique des coupes a permis de mettre en évidence une liaison concernant le déplacement du fer et celui de l'alumine. Il est en effet possible d'observer une localisation préférentielle des teneurs en Al_2O_3 dans les zones les plus déferri-ficées et non résilicifiées des gisements. Cette localisation se traduit par la formation de goethite alumineuse dans le cortex des pisolithes et par l'apparition de gibbsite cryptocristalline ou microcristalline, soit à la périphérie des sphérites, soit à l'intérieur des structures pisolithiques et oolithiques. Les calculs quantitatifs effectués localement, suivant la méthode G. Bárdossy (1970), montrent que l'hématite contient un faible pourcentage d'alumine (5% mol.), mais ce dernier est nettement insuffisant pour justifier les pourcentages d'alumine substitués au fer dans la goethite qui provient, comme nous l'avons vu, de l'altération de l'hématite (de 15 à 25% mol. dans le cas des Alpilles). Il faut donc admettre un déplacement d'une partie de l'aluminium du fond boehmitique allant se substituer à la goethite d'une part et une recristallisation sous forme de gibbsite d'autre part. De tels enrichissements en gibbsite peuvent être également observés dans un petit gisement localisé à la Roques d'Antheron (Bouches-du-Rhône) ainsi que dans les poches bauxitiques du Haut-Var. Là, les gisements n'étant pas recouverts par un toit, des mobilisations ultérieures d'alumine et des néoformations en gibbsite ont pu se manifester. A ce sujet, on peut évoquer l'action de pédogenèses acides ou subaquatiques (de type podzolique ou de type « dy ») telles qu'elles ont été définies récemment par H. Erhart (1973) et qui sont susceptibles d'engendrer de telles manifestations.

2.1.3. *Migration de manganèse*

Cet élément est fréquent, sous forme d'enduits à la surface du mur karstifié. Le manganèse est donc également soumis à un lessivage et se trouve entraîné par les eaux de percolation puis déposé à la surface du mur qui possède une faible perméabilité par rapport à la bauxite. Il apparaît alors, là, sous forme d'oxydes et d'hydroxydes de nature complexe, plus ou moins amorphes. Parfois, il est associé à du nickel et du cobalt, dans des niveaux argileux, terreux de type « wad ». Ces niveaux, épais de 5 à 10 cm, sont situés sous la bauxite et recouvrent le mur (partie orientale du synclinal de Val-Vins). Dans ces « wad » les analyses diffractométriques ont permis de déterminer, entre autres, la présence de pyrochroïte ($\text{Mn}(\text{OH})_2$), ainsi que celle d'un hydroxyde de nickel assez mal cristallisé.

2.1.4. *Migration des éléments-traces*

L'étude de la répartition des éléments-traces au sein de la bauxite a toujours été effectuée, parallèlement à la recherche des éléments majeurs. D'une manière générale ces éléments-traces accompagnent de façon très nette la sédimentation bauxitique qui se trouve ainsi caractérisée par leur présence. En effet certains d'entre eux sont des éléments classiques de la formation bauxitique et disparaissent lorsqu'on se trouve dans des couches étrangères à la formation. Localement, certains de ces éléments-traces peuvent se concentrer au sein de la bauxite et, à ce sujet, on peut citer une localisation épigénétique intéressante de nickel. Il a été découvert (G. Durozoy, H. Haute et C. Jacob, 1966) dans la région de Peygros (gisement du Pas de Rocou-les-Codouls, Var) des nodules vert clair, dispersés au sein d'une bauxite ferrugineuse à grain fin (B. Kotschoubey, 1969). Ces nodules sont constitués en leur centre par une matrice oolithique grise, totalement déferriifiée, formée de boehmite, à laquelle est associée une faible quantité de kaolinite. Les zones externes de ces nodules, de couleur verte, possèdent en revanche des teneurs en hydroxyde mixte de Al et Ni qui augmentent brusquement tandis que la teneur en boehmite diminue progressivement et que la kaolinite disparaît totalement. Pour J. Nicolas et B. Kotschoubey (1972), ce minéral serait formé par un déplacement centrifuge du fer, suivi de la mobilisation du nickel qui se combine avec l'alumine hydratée. Ce point de vue cadre assez bien avec les travaux de Lj. Nalovic (1970) qui a particulièrement insisté sur le rôle important que jouerait la présence d'éléments-traces dans la cristallisation du fer. Il est possible que le déplacement de ces éléments (dû au lessivage en milieu réducteur, à la présence de matières organiques) ait favorisé une migration du fer et, ensuite, facilité une concentration en nickel. Ce même phénomène a pu également favoriser la transformation d'hématite en goethite.

2.2. **Transformations résultant de l'influence mutuelle de la minéralisation bauxitique et de celle du toit qui la recouvre**

Les transformations secondaires affectant les dépôts de bauxite ne sont pas uniquement constituées par des migrations d'éléments appartenant à la formation bauxitique, et par des néoformations minéralogiques internes. Bien que l'eau d'infiltration soit toujours à l'origine de tous ces phénomènes secondaires, elle peut également servir de vecteur à des éléments étrangers à la minéralisation bauxitique proprement dite, qui vont réagir sur cette dernière. *La formation de kaolinite secondaire, due à une resiliification des parties supérieures de certains gisements de bauxite en est un des plus beaux exemples.*

Plusieurs gisements du synclinal de Val-Vins (Var) possèdent des toits constitués par des grès ou argiles gréseuses fluvio-lacustres d'âge valdonien. Dans ce cas, il est possible d'observer l'apparition, au sommet des coupes, de minces filonnets de kaolinite très blanche, d'aspect nacré ou porcelané. Au fur et à mesure que l'on se rapproche de la zone supérieure du dépôt bauxitique, ces filonnets deviennent de plus en plus importants, entourent, pénètrent les éléments du conglomérat, puis finissent par envahir complètement le sommet de la formation (photo n° 3). On peut ainsi, progressivement, observer tous les

intermédiaires possibles entre une bauxite rouge classique, riche en boehmite et hématite et une roche blanche, massive, entièrement composée de kaolinite à peine piquetée de quelques points rouges, microscopiques, témoins de l'ancienne bauxite (J. Nicolas, B. Hieronymus et B. Kotschoubey, 1969). Cette kaolinite porcelanée est un véritable flint, elle n'est pas plastique, contrairement aux argiles kaoliniques qui surmontent la bauxite. Les nombreuses études réalisées sur cette zone permettent de penser à une néoformation de kaolinite aux dépens de la bauxite et de lier cette kaolinisation à la nature siliceuse du toit. En effet, la percolation de l'eau à travers les sables a pu libérer de la silice qui a été véhiculée jusqu'au niveau bauxitique. Celui-ci, partiellement déferriqué, pouvait, nous l'avons vu, posséder une certaine quantité d'alumine disponible, qui s'est recombinaisonnée avec la silice pour former la kaolinite. Cette resiliification partielle ou totale de la partie supérieure de la formation bauxitique s'observe *toujours* lorsque le toit est sablo-gréseux et uniquement dans ce cas (Lac de Carcès, la Lagère, Combecave, Ollières, Pourcieux). Elle peut être superposée à la déferriqation totale signalée plus haut, mais ne peut être confondue avec cette dernière car le caractère particulier (aspect porcelané) de la kaolinite ainsi formée, fait que la zone de resiliification est bien délimitée.

3. TRANSFORMATIONS EN RELATION AVEC LA TECTONIQUE DES GISEMENTS

Les gisements de bauxite provençaux ont subi, après leur dépôt, des mouvements liés à la tectonique pyrénéo-provençale. Ils peuvent être affectés par des failles, des diaclases, des flexures, des laminages, ou former des écaillés interstratifiées dans les calcaires du mur (gisement de Combecave-La Gagère, Var).

La conséquence des déformations tectoniques subies par la bauxite prennent parfois une grande importance. Ainsi, plus la couche bauxitique est diaclasée ou faillée, plus les eaux pénètrent facilement à l'intérieur de la roche. Les surfaces de glissement sont particulièrement propices à cette pénétration et se trouvent soulignées par une forte déferriqation et par l'apparition de la goethite. Les resiliifications (lorsque la nature du toit s'y prête) sont également très développées dans ces zones. De plus, dans le cas de bauxites très pisolithiques à ciment kaolinique, les diaclases peuvent être comblées par une accumulation de sphérites libérées du ciment et forment ainsi des filons exclusivement constitués par des pisolithes et des nodules hématitiques peu ou pas soudés les uns aux autres. Lorsque les contraintes tectoniques sont plus intenses, qu'elles produisent des zones de laminage ou de broyage, on observe une lapidification plus ou moins accentuée de la bauxite. Cette dernière devient dure, sa cassure est conchoïdale, elle ressemble macroscopiquement à l'argile flint. Toutefois l'analyse minéralogique ne décèle, le plus souvent, aucune trace de kaolinite et il ne semble pas que, dans ce cas, il y ait de transformation minéralogique. En revanche, ces transformations apparaissent nettement dans les zones à forte contrainte tectonique. Elles se traduisent par l'apparition de *diaspore qui remplace partiellement ou complètement la boehmite*. L'apparition du diaspore se fait essentiellement dans les éléments grossiers et s'accompagne souvent d'une forte déferriqation de ceux-ci (les Codouls, Var). Ainsi, bien qu'on ne puisse parler d'un véritable dynamométamorphisme, la tectonique a joué un rôle non négligeable dans l'évolution minéralogique et lithologique de la bauxite.

Enfin, bien que n'affectant pas, en général, directement la bauxite, la karstification du mur sur lequel elle repose doit être ici également soulignée. En effet, l'approfondissement de la surface morphotectonique où s'est effectué le dépôt bauxitique a été réalisé postérieurement et, dans bien des cas, peut se poursuivre de nos jours. Ce phénomène de karstification secondaire a été nettement mis en évidence par J. P. Combes (1969); il est particulièrement spectaculaire dans le cas de séries renversées où le nouveau toit, qui cor-

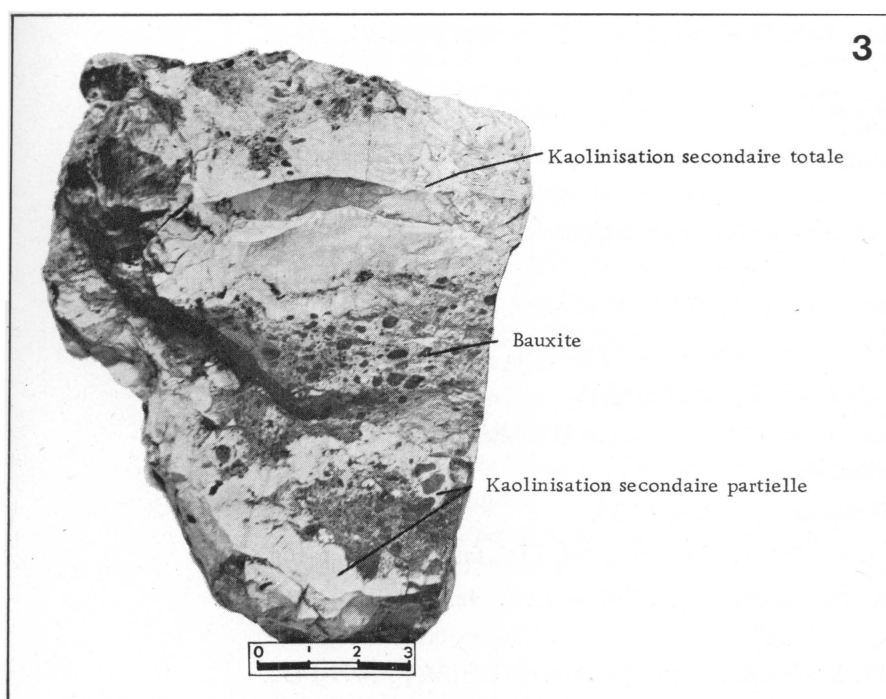
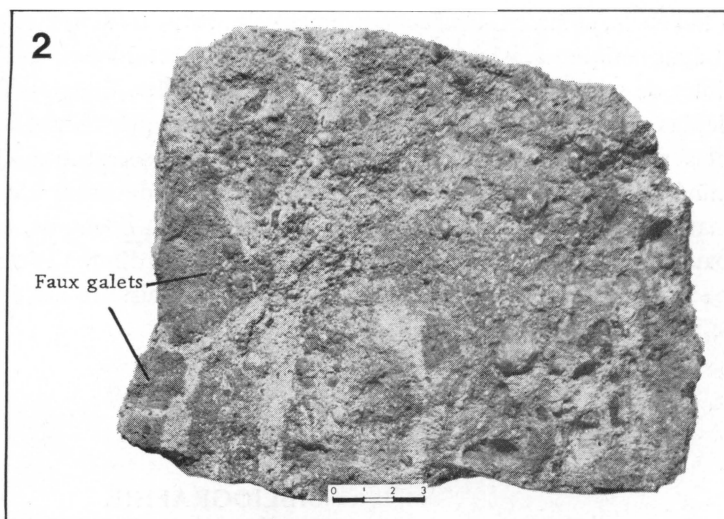


Photo 1. — Bauxite kaolinique, partiellement déferriée, à faciès « tigré » (carrière de Peygros)

Photo 2. — Formation de « faux galets » dans une bauxite pisolithique et oolithique (mine de Combecave)

Photo 3. — Formation de kaolinite secondaire (carrière du Lac de Carcès)

respond à l'ancien mur en raison d'un mouvement de bascule, est karstifié alors que le nouveau mur (ancien toit) n'est pas atteint (cas de gisements ariégeois). De plus, la nature lithologique du mur et la valeur du pendage de ce dernier influent sur l'intensité de la karstification. Elle entraîne un affaissement plus ou moins complet de l'ensemble bauxitique ainsi que celui des toits qui le recouvrent.

4. CONCLUSIONS

L'histoire de la bauxite est une histoire complexe. Cette roche, issue d'une latérite démantelée, a subi, au cours de transports par paliers, des modifications et continue à subir, par étapes, le phénomène de bauxitisation. Déposée dans les pièges où on la trouve aujourd-

d'hui elle a, comme toute roche sédimentaire, été affectée par les phénomènes diagénétiques et épigénétiques ainsi que par certaines actions tectoniques. Ces phénomènes sont susceptibles de se superposer, de s'associer, de s'annihiler. Tous ces faits entraînent au sein des dépôts des modifications d'ordre physique, chimique, minéralogique parmi lesquelles les plus spectaculaires sont la déferrification, la concentration du fer, la transformation minéralogique de cet élément, la resiliification aboutissant à des néoformations... la formation de diaspore et de gibbsite aux dépens de la boehmite, etc. Ils confèrent ainsi à la bauxite sa nature et le faciès qu'on lui connaît aujourd'hui. Les quelques pages qui précèdent ne relatent vraisemblablement qu'une partie de l'histoire des événements qui ont marqué le minerai après son dépôt.

BIBLIOGRAPHIE

- BÁRDOSSY (G.), 1970. — *Acta Chimica Ac. Ss. Hungaricae*, Budapest, 63, p. 267-277.
- BILDGEN (P.), 1973. — *Thèse*, 3^e cycle. Lab. Géol. Appliquée, Université Paris VI, 134 p. ronéo.
- COMBES (J. P.), 1969. — *Thèse doctorat Etat*, Université Montpellier.
- DUROZOY (G.), HAUTE (H.) et JACOB (C.), 1966. — *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 263, série D, p. 625-626.
- ERHART (H.), 1973. — *Itinéraires géochimiques et cycle géologique de l'aluminium. Doinédit.*, Paris.
- HIÉRONYMUS (B.), 1969. — *Thèse* 3^e cycle, Lab. Géol. Appliquée, Université Paris VI.
- KOTSCHUBEY (B.), 1969. — *Thèse* 3^e cycle, Lab. Géol. Appliquée, Université Paris VI.
- LAPPARENT (J. de), 1930. — *Mém. Carte Géol. France*, 186 p.
- NALOVIC (Lj.), 1970. — Comportement du fer en présence d'éléments-traces. *Rapport O.R.S.T.O.M.*, Yaoundé, 87 p. ronéo.
- NICOLAS (J.), 1968. — *Mineralium Deposita*, 3, n° 2, p. 18-33.
- NICOLAS (J.), 1969. — *Annales Inst. Geol. Public. Hungarici*, vol. LIV, fasc. 3, p. 135-164.
- NICOLAS (J.), HIÉRONYMUS (B.) et KOTSCHUBEY (B.), 1969. — *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 268, p. 2862-2864.
- NICOLAS (J.) et KOTSCHUBEY (B.), 1972. — *C.R. Ac. Sc.*, Paris, série D, 274, p. 1449-1452.
- NICOLAS (J.) et BILDGEN (P.), 1972. — *C.R. Ac. Sc.*, Paris, 274, p. 3496-3499.

*Département de Géologie appliquée, Université Paris VI
4, Place Jussieu, 75230 Paris Cédex 05 (France)*