Zeitschrift: Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 9 (1948-1950)
Heft: 1

Artikel: Les bauxites de l'Europe centrale : Province dinarique et Hongrie
Autor: Weisse, Jean-Godefroy de
Kapitel: 2: Études au laboratoire
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-287475

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 03.10.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

DEUXIEME SECTION
ETUDES AU LABORATOIRE

PREMIÈRE PARTIE
LES CONSTITUANTS DE LA BAUXITE

CHAPITRE PREMIER : CLASSIFICATION

Nombreux sont les critères que l'on peut invoquer pour établir une classification des différentes bauxites. On peut en effet considérer la structure ou la texture de la roche, sa couleur, sa composition chimique, son origine. On emploie aujourd'hui deux termes pour désigner les roches formées d'hydrates d'alumine : celui de bauxite et celui de latérite.

Sans vouloir aborder ici l'ancienne polémique sur la définition de ces termes, je me bornerai à rappeler quelques essais récents de classification.

CYRIL FOX, l'un des meilleurs connaisseurs de la latérite des Indes et auteur d'un ouvrage classique sur la bauxite (25), classe les roches à hydrates d'aluminium, selon leur origine, en bauxites du type terra rossa (associées aux calcaires) et en bauxites du type latérite (associées aux roches éruptives). Dans la seconde édition de son ouvrage « Bauxite and Aluminous Laterite », il propose de réserver le nom de bauxite aux hydrates d'alumine liés aux calcaires (type européen) et celui de latérite alumineuse pour les hydrates d'alumine dérivés de roches éruptives (type tropical), se conformant en cela à la subdivision adoptée par M. HARRASSOWITZ (31) dans son ouvrage «Laterit». Ce dernier, à la suite de l'étude des bauxites du Vogelsberg, dans la Hesse, et en s'inspirant des remarquables travaux de LACROIX (41) a créé pour ce type de roche une terminologie nouvelle. C'est ainsi qu'il distingue la *siallite* : roche formée essentiellement de silicate d'alumine hydraté, de l'allite : roche formée essentiellement d'hydrate d'alumine. Parmi les siallites, il range la *kaolinite* (roche formée de kaolin) et l'*allophanite* (roche formée d'allophane ou silicate d'alumine hydraté, colloïdal). Les allites comprennent d'une part la *bauxite* (roche formée essentiellement de mono-hydrate d'alumine colloïdal), d'autre

part, la *latérite proprement dite* (roche formée essentiellement de trihydrate d'alumine cristallin).

On peut, d'après ces données, établir pour ce type de roche d'altération le schéma suivant :

Groupes	Roches	Minéraux essentiels
Groupe silico-alumineux SIALLITES	*Kaolinite*	KAOLIN (cristallin)
	Allophanite	ALLOPHANE (colloïdal)
Groupe alumineux ALLITES	*Latérite* (Trihydrallite)	TRIHYDRATE (cristallin)
	Bauxite (Monohydrallite)	MONOHYDRATE (colloïdal)

Classification d'HARRASSOWITZ.

Ayant posé ces définitions, HARRASSOWITZ considère que le minerai d'aluminium lié au calcaire (type français), correspond à la *bauxite*, tandis que les minerais liés aux roches éruptives (type tropical) sont l'équivalent des *latérites*.

Nous verrons dans la suite que cette classification minéralogique ne correspond pas entièrement à la réalité, et qu'il faut lui substituer un cadre moins rigide.

La latérite définie par BUCHANAN (17) correspond à une siallite et n'est pas identique à la latérite définie par M. BAUER (4) roche essentiellement alumineuse. Mais quelle que soit leur composition chimique, les latérites décrites par BUCHANAN, BAUER, LACROIX, dérivent directement d'une roche éruptive quelconque : basalte, diabase, syénite néphélinique, granite, etc. ou d'une roche cristallophyllienne : gneiss, micaschiste, etc.

La bauxite liée au calcaire, dériverait par hypothèse de l'argile de décalcification plus ou moins modifiée, ou terra rossa des régions karstiques. Mais, tandis que dans les régions tropicales actuelles on observe tous les termes de passage entre la roche éruptive et la latérite, dans les régions calcaires on ne voit nulle part la transformation actuelle d'une argile de décalcification en bauxite proprement dite. C'est en cela que réside le caractère hypothétique de l'origine de la bauxite, et c'est la raison pour laquelle on voit de temps en temps réapparaître l'ancienne hypothèse d'une origine éruptive des dépôts de bauxite d'Europe.

Récemment encore, E. VADASZ (212) se fondant sur le fait que la latérite décrite par BUCHANAN correspond à une roche silicatée, de type argileux, formée sur place par altération tropicale, proposait de réserver le nom de latérite au type de roche ainsi défini, tandis qu'il donnait le nom de bauxite aux roches formées d'hydrate d'alumine, remaniées et dérivées, par divers processus chimiques, d'une latérite ou d'une argile. Ce point de vue est adopté par un grand nombre d'auteurs et en particulier dans le langage commercial. Il ne se justifie pas étant donné qu'il modifie le sens usuel du terme de latérite, tel que l'ont défini ceux qui l'ont fait connaître (FERMOR, BAUER, LACROIX, HARRASSOWITZ, etc.) et qui implique un enrichissement en hydrate d'alumine et en oxyde de fer.

Je ne reviens pas ici sur les définitions proposées par J.-H. HELLMERS (38), qui n'ont guère contribué à simplifier la question. Elles sont d'ailleurs plutôt destinées à des pédologues qu'à des géologues.

HARRASSOWITZ remarque que les latérites sont plus riches en eau que les bauxites. C'est un fait que les latérites alumineuses formées sur les roches éruptives sont caractérisées par une haute teneur en eau de constitution; mais il n'est pas rare de rencontrer parmi les bauxites formées sur les calcaires de la Province dinarique ou du Massif central hongrois, des types dont la teneur en eau de constitution est en tout point comparable à celle des latérites, ainsi que le montre le tableau suivant :

Perte au feu de quelques latérites et bauxites.

LATERITE	Perte au feu	*BAUXITE*	Perte au feu
Bintan (Indes holland.)	28 % - 30 %	Kalua (Dalmatie)	22 % - 28 %
Indes anglaises	25 % - 30 %	Halimba (Hongrie)	18 % - 30 %
Côte d'Or (Afrique)	22 % - 31 %	Iszkaszentgyörgy (H.)	20 % - 30 %
Guyane angl.	26 % - 32 %	Wochein (Alp. Jul.)	20 % - 27 %
Vogelsberg (Hesse)	24 % - 28 %	Camparoux (France)	16 % - 19 %

Dans le mémoire qu'il a consacré aux bauxites de la France méridionale, J. DE LAPPARENT (45) a montré également qu'il n'existe pas de différences pétrographiques essentielles entre la latérite actuelle des pays tropicaux et la bauxite fossile française. Par contre, il existe des différences entre la matière génératrice de la latérite et celle de la bauxite. C'est la raison pour laquelle nous maintenons une distinction entre ces deux roches. Cette distinction ne se fonde pas sur la composition chimique ou minéralogique, mais plutôt sur l'origine. Nous reprenons en cela le principe de classification adopté par C. Fox (25).

Nous subdivisons les roches d'altération riches en hydrates d'alumine en deux groupes principaux, selon le type de roche dont elles proviennent :

1. *Bauxites de terra rossa*, ou bauxites proprement dites reposant sur les roches carbonatées.

2. *Bauxites latéritiques*, reposant généralement sur des roches cristallines.

Les *bauxites de terra rossa* comprennent les roches alumineuses dérivées des argiles de décalcification. Elles ne se trouvent qu'à l'état fossile et sont surtout répandues dans les massifs calcaires ou dolomitiques des bords de la Méditerranée et du Bassin pannonique; mais elles existent également dans l'Oural, le Turkestan russe, aux Indes (Jammu), dans le Yunnan (Kweichow), dans les Appalaches (E.-U.). Elles sont caractérisées par l'un des trois hydrates d'alumine connus : la gibbsite, la bœhmite ou le diaspore ($Al_2O_3 . H_2O$).

Les *bauxites latéritiques* comprennent la partie alumineuse des latérites et sont en général dérivées de roches éruptives ou de roches cristallophylliennes. Elles sont surtout répandues dans les régions tropicales actuelles (Guyane, Guinée, Côte d'Or, Indes anglaises et hollandaises, etc.), mais se rencontrent aussi à l'état fossile sous nos latitudes (Irlande, Hesse, Massif central français, Bohême, etc.). Elles sont généralement caractérisées par la prédominance de la gibbsite ($Al_2O_3 . 3H_2O$).

Bauxite de terra rossa et bauxite latéritique que l'on peut grouper sous le nom d'allite, se forment toutes deux par altération sous un climat tropical où alternent les périodes sèches et humides.

Certaines allites semblent provenir de sédiments argileux ou gréseux, telles les «bauxites» de Tichwin par exemple, situées sur le pourtour du bassin carbonifère de Moscou; mais tant que l'on n'aura pas précisé s'il s'agit de bauxites remaniées, il est hasardeux de se prononcer sur leur origine.

Chapitre II : Analyse chimique.

Les listes d'analyses que nous indiquons à propos de chaque gisement mettent en évidence les grandes variations de composition de la bauxite.

Nous n'indiquons dans ces analyses que les composants essentiels tels que les donne l'analyse industrielle : Al_2O_3,SiO_2, Fe_2O_3,TiO_2 et la perte au feu. Des analyses plus complètes révèlent l'existence de nombreux autres éléments en trace (MnO, CaO, MgO, P_2O_5, V_2O_5, F, etc.). Mais ils ne jouent qu'un

rôle secondaire dans les caractéristiques d'une bauxite. Le titane en revanche, est relativement concentré, sa teneur varie très peu et dépasse rarement 3 %.

Nous examinerons donc en premier lieu les quatre composants principaux, c'est-à-dire : Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3, H_2O (perte au feu) que nous obtenons par l'analyse gravimétrique, puis nous aurons recours à d'autres méthodes pour déceler sous quelle forme ces constituants se trouvent dans les bauxites considérées.

C'est ainsi qu'à côté de l'analyse chimique, on utilisera :

l'analyse microscopique,
l'analyse thermique,
l'analyse aux rayons X.

Les grandes variations dans la teneur des composants principaux nous montrent d'emblée qu'il s'agit dans le cas des bauxites de roches contenant des proportions variables de minéraux et non pas d'une espèce minérale définie. Cette roche peut être considérée comme faisant partie de la famille des roches argileuses, dont elle occupe la zone alumineuse. Nous avons vu en effet qu'il existe tous les termes de passage entre l'argile de décalcification, la terra rossa et la bauxite. Comme c'est le cas dans la plupart des familles de roches, la démarcation entre deux termes de la série est en général arbitraire.

Nous reprenons ici les définitions adoptées par J. DE LAPPARENT (45, p. 80), dans sa classification des bauxites françaises.

Nous considérons donc

d'une part le rapport de l'alumine à la silice [1] : $\frac{Al_2O_3}{SiO_3}$

d'autre part la teneur en oxyde de fer : Fe_2O_3.

J. DE LAPPARENT indique les groupes suivants :

1. Rapport $\frac{\% \, Al_2O_3}{\% \, SiO_2} = A$

Bauxites	mégalumineuses	$A \geqslant 20$
»	alumineuses	$20 > A > 10$
»	siliceuses	$10 > A > 4$
»	mégasiliceuses	$A < 4$ (terra rossa)

2. Teneur en $Fe_2O_3 = F$

Bauxites	mégaferriques	$F \geqslant 25\ \%$
»	ferriques	$25\ \% > F > 10\ \%$
»	microferriques	$F < 10\ \%$

[1] Il ne faut pas confondre ce rapport avec le rapport ki d'HARRASSOWITZ, qui représente l'inverse (voir p. 128).

La bauxite exigée par l'industrie de l'aluminium correspond généralement au type alumineux-ferrique.

On trouve également d'autres indications, telles que l'indice «alumine». L'indice d'une bauxite s'obtient en soustrayant de la teneur en alumine le double de la teneur en silice. La bauxite employée dans l'industrie ne doit si possible pas avoir un indice inférieur à 50.

Les bauxites de la Province dinarique et du Massif central hongrois peuvent se ranger au point de vue chimique dans les types alumineux, siliceux, mégasiliceux, ferriques et mégaferriques.

Il n'est pas possible d'envisager isolément les principaux constituants de la bauxite, car l'expérience a montré qu'ils formaient entre eux différentes combinaisons : ainsi la silice n'existe pas à l'état libre sous forme de quartz, mais elle est liée à l'alumine et à l'eau de constitution sous forme de silicate hydraté. Le fer détermine la teinte de la roche; elle est généralement rouge lorsqu'il se trouve à l'état d'oxyde anhydre et jaune lorsqu'il est hydraté.

Alumine et eau de constitution.

Si nous considérons les bauxites dont la teneur en silice est inférieure à 5 %, sans tenir compte pour l'instant de l'oxyde de fer, nous remarquons que sur un grand nombre d'analyses (plus de 4000) la teneur en alumine oscille entre 45 et 65 % environ, la teneur en eau (+100°) oscille entre 11 et 30 % environ. Un examen plus attentif nous montre deux groupes distincts entre lesquels se situent des types intermédiaires :

1. un groupe à haute teneur en alumine et basse teneur en eau ;
2. un groupe à basse teneur en alumine et haute teneur en eau.

Ces deux types ne se distinguent pas à l'œil nu. Il faut pour les reconnaître déterminer leur perte au feu, ou mesurer leur poids spécifique.

Dans le premier groupe, l'alumine se trouve à l'état de monohydrate $Al_2O_3 . H_2O$ (boehmite ou diaspore), dans le second elle existe sous forme de trihydrate $Al_2O_3 . 3H_2O$ (gibbsite). Ce sont les deux seules formes sous lesquelles l'alumine est combinée à l'eau dans la nature.

En considérant la répartition géographique de ces deux groupes on remarque que le groupe alumineux monohydraté prédomine dans les gisements suivants :

Province dinarique :

Bauxites du Trias (Croatie, Monténégro);
» de la fin du Crétacé (Istrie, Dalmatie, Monténégro, Bosnie, Herzégovine);
» de Bosanska Krupa (Bosnie);
» du Sanntaler (Alpes de Steiner).

Massif central hongrois :

Bauxites de Nyirad,
» de Gant,
» d'O Barok,
» de Nézsa,
» de Harsany (Hongrie du Sud).

Le groupe peu alumineux et trihydraté prédomine dans les gisements suivants :

Province dinarique :

Bauxite lutétienne (Dalmatie, Herzégovine).

Massif central hongrois :

Bauxite d'Halimba,
» d'Iszkaszentgyörgy.

Silice

Lorsque la teneur en silice croît, on passe graduellement aux bauxites mégasiliceuses ou terra rossa, qui, lorsqu'elles n'ont pas subi de métamorphisme, sont reconnaissables à leur plasticité en présence d'eau, caractère qui les identifie aux roches argileuses et les rend imperméables.

La silice peut diminuer jusqu'à n'atteindre que 0,10 % dans les bauxites les plus évoluées. Cette diminution est indépendante de la teneur des autres constituants, elle est généralement réalisée au centre de la couche ou de la poche.

C'est cette diminution de la silice, qui est le fait le plus caractéristique de l'évolution d'une bauxite.

Si l'on considère la répartition de la silice par rapport aux gisements, on constate qu'un grand nombre de gisements de la Province dinarique sont caractérisés par la basse teneur en silice; on note, il est vrai, plusieurs gisements importants dans lesquels la silice ne s'abaisse pas au-dessous de 8 à 10 % tels par exemple :

les bauxites triasiques de Croatie,
les bauxites sénoniennes du Monténégro (Bar).

Dans le Massif central hongrois les amas à basse teneur en silice sont noyés dans de grandes masses de terra rossa

contenant 10 à 40 % de SiO_2. Quelques gisements renferment une bauxite dont la teneur moyenne en silice ne s'abaisse pas au-dessous de 8 à 10 %, ce sont :

les bauxites d'Alsopere,
les bauxites d'Harsany.

Oxyde de fer.

La teneur en oxyde de fer (Fe_2O_3) qui détermine la teinte de la bauxite varie de 10 à 30 % ; elle se maintient en général au voisinage de 20 %. Il est rare qu'elle s'abaisse en dessous de 10 %. On ne connaît que très peu de bauxites blanches en Europe centrale. Par contre, il est fréquent de rencontrer des bauxites jaunes aux voisinages du calcaire des épontes. Ces bauxites jaunes, ainsi que nous l'avons montré à propos de l'Istrie, renferment le fer sous forme de limonite au lieu d'hématite. Elles présentent toutes une perte au feu légèrement plus élevée que les bauxites rouges. La déferrification prononcée de certaines bauxites françaises, celle de Vins par exemple, me paraît être liée à la circulation d'une nappe d'eau contenant de l'acide carbonique. Dans la Province dinarique et en Hongrie, les gisements de bauxites sont presque tous situés dans une zone karstique au-dessus du niveau hydrostatique. La couleur n'est donc pas nécessairement un indice de la teneur en fer, mais plutôt de la forme sous laquelle le fer est combiné : à l'état d'oxyde ou d'hydrate. Par des procédés analytiques, ARSANDAUX (2) a montré que l'état d'hydratation de l'alumine est indépendant des proportions d'oxyde de fer et que l'oxyde de fer est voisin de l'état anhydre. Cette conclusion s'applique aux bauxites rouges.

Parmi les rares bauxites microferriques d'Europe centrale on peut signaler celles du Crétacé inférieur du Monténégro, ainsi que quelques petits amas parmi les bauxites sénoniennes d'Istrie ou de Dalmatie. En Hongrie, les gisements méridionaux d'Harsany renferment une assez forte proportion de bauxite microferrique. Ce type est en général siliceux, de sorte que malgré sa haute teneur en alumine il n'est pas utilisable pour l'industrie de l'aluminium.

La grande majorité des bauxites d'Europe centrale est du type ferrique, sa teneur en Fe_2O_3 oscille entre 20 et 25 %.

Oxyde de titane.

L'analyse d'une bauxite décèle toujours la présence du titane (TiO_2). Sa teneur varie généralement dans de faibles limites : entre 2 à 4 % environ. J'ai signalé à propos des

bauxites triasiques de RUDOLPOLJE que la teneur en titane semble croître proportionnellement à celle de l'alumine. Dans les nombreux profils de puits ou de sondages que j'ai eu l'occasion d'examiner, j'ai constaté généralement une diminution du titane avec la profondeur, pouvant aller en Istrie de 4,60 à 2,11 %, dans le Bakony de 3,50 à 1,50 %.

Cette même diminution s'observe dans les gisements du Var ; à Mazaugues par exemple elle va de 4,8 à 2,6 %.

Dans la plupart des cas cette variation paraît être indépendante de la teneur en alumine. J. DE LAPPARENT a montré que le titane devait se trouver dans les bauxites sous forme de poussières de rutile et d'anatase.

Eléments rares.

Parmi les éléments rares indiqués plus haut, l'oxyde de manganèse (MnO_2) se trouve dans la plupart des bauxites, en quantités assez faibles. Il en a été question dans un chapitre précédent. La chaux imprègne souvent, à l'état de calcite, la zone située immédiatement sous le toit. Elle est postérieure à la formation de la bauxite et provient des eaux d'infiltration qui circulent dans le calcaire du toit.

D'autres éléments comme le phosphore, le fluor, le vanadium ou le gallium se trouvent en petites quantités ou à l'état de traces. Il n'est pas étonnant que ces éléments assez rares soient concentrés dans la bauxite, si l'on admet que celle-ci représente un résidu désilicifié de la dissolution des calcaires. De tous ces éléments rares le vanadium est le seul que l'on extraie industriellement au cours du traitement des bauxites.

CHAPITRE III : STRUCTURE ET COMPOSITION MINÉRALOGIQUE.

1. *Structure de la bauxite.*

L'examen d'un grand nombre de bauxites provenant de la Province dinarique et du Massif transdanubien, permet de se faire une idée de la variété de teinte et de structure que peut présenter cette roche. Sans revenir ici sur la structure bréchique dont il a été question à propos des gisements transdanubiens, je m'occuperai plus spécialement de la structure des amas compacts et homogènes.

Dans les gisements qui n'ont pas subi de remaniements intenses, la bauxite apparaît sous forme d'une masse colorée de teinte rouge, rose, violacée ou jaune, généralement compacte, sans stratification, mais présentant des diaclases ou des

fissures. Lorsque le gisement a été soumis à de fortes pressions tectoniques, les diaclases forment un système rectangulaire et la bauxite se débite en parallélipipèdes.

La dureté varie avec la teneur en eau, l'âge et le degré de métamorphisme. Certaines bauxites d'Halimba peuvent se rayer à l'ongle, et se délaient dans l'eau; les bauxites sénoniennes d'Istrie et de Dalmatie ont une dureté variant entre 2,8 et 3,5 (échelle de Mohs). Les bauxites de Croatie (triasiques) et d'Harsany (Crétacé inférieur) plus dures encore, varient entre 4 et 5. Enfin, dans le Bihar on trouve des bauxites dont la dureté peut atteindre 6,5 et 7. Cette grande dureté est due à la présence du diaspore.

La cassure plane ou conchoïdale est lisse dans les types durs, rugueuse dans les variétés tendres et happe à la langue. Lorsque la roche ne se brise pas mais devient plastique on passe à une argile.

Dans chaque gisement on trouve divers types de structure : des bauxites à structure homogène et à grain très fin, de couleur uniforme ou tachetées, des bauxites à structure grenue ou noduleuse, des variétés à structure microbréchique et des bauxites pisolithiques.

Ce dernier type de structure, généralement lié à des sédiments organogènes ou d'altération chimique est très caractéristique de la bauxite. Rares sont les gisements où l'on ne trouve pas un horizon pisolithique. Les pisolithes, dont la dimension varie entre celle d'une tête d'aiguille et celle d'une noisette ou d'une noix, ont une structure concentrique. Le centre généralement sombre est entouré d'une succession d'enveloppes alternativement claires et foncées. Certains pisolithes sont formés d'une sphère foncée entourée d'une écorce claire, ce sont les plus fréquents; d'autres clairs au centre ont une enveloppe foncée. Lorsque la structure n'est plus concentrique mais devient homogène, on passe à des pseudopisolithes ou même à de simples grains au contour quelconque [1]. Ces pisolithes et ces grains sont répartis très irrégulièrement dans la masse de la bauxite ou matrice. On trouve des bauxites dont la matrice relativement homogène ne renferme que quelques pisolithes isolés; il en est d'autres qui ne sont constituées que par des pisolithes juxtaposés, et dont la matrice ne subsiste que dans les interstices.

La répartition des bauxites pisolithiques et perlitiques dans les gisements varie d'une région à l'autre et semble n'obéir à

[1] Structure perlitique de J. DE LAPPARENT.

aucune loi. Dans les gisements de Gant et d'Alsopere en Hongrie, la bauxite pisolithique est généralement localisée à la partie supérieure de la couche, mais on en trouve aussi des amas dans la partie inférieure. Dans la Province dinarique la bauxite pisolithique est surtout développée dans les gisements de la fin du Crétacé. La surface de certains gisements est couverte de gravier de pisolithes qui, grâce à leur enveloppe ferrugineuse, parviennent à résister plus longtemps à l'altération atmosphérique. Dans les gisements lutétiens de Dalmatie, les pisolithes sont plus rares, et souvent plus petits.

Au point de vue chimique, on constate généralement une différence entre la composition des pisolithes et celle de la matrice. GEDEON (154) a montré qu'à Gant (Hongrie) les pisolithes ont une teneur en oxyde de fer supérieure à celle de la matrice. Les pisolithes paraissent avoir concentré l'oxyde de fer. Dans d'autres gisements, comme à Bar (Monténégro) les pisolithes qui atteignent la dimension de noisettes, se sont enrichis en alumine et appauvris en silice par rapport à la matrice. Ils apparaissent comme des concrétions de bauxite dans une argile bauxitique.

Dans son ensemble la bauxite fortement pisolithique est généralement plus ferrugineuse et moins siliceuse que les variétés homogènes (Alsopere, Harsany).

Analyses de pisolithes.

N°	Type	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	P. F.	Al_2O_3	CaO	
	Gant (Hongr.)							
223	pisolithes	4,46	30,20	3,60	19,86	41,88		(GÉDÉON)
224	matrice	8,00	16,55	5,00	18,06	52,39		»
	Epleny (Hongr.)							
225	pisolithes	2,00	38,52	3,00	15,67	40,80		»
226	matrice	1,10	14,70	2,10	25,10	54,64	2,36	»
	Bar (Monténég.)							
227	pisolithes	4,41	15,70	3,12	14,38	62,39		
228	matrice	8,52	19,92	3,28	14,17	54,11		
	Otranto (It. mer)							
229	pisolithes	1,72	25,25	2,90	13,07	57,06		
230	matrice	29,24	18,46	2,50	12,56	37,24		

L'origine de cette structure n'a pas encore trouvé d'explication satisfaisante. Elle paraît être liée aux substances riches en oxydes de fer, en hydrates d'alumine ou en carbonate de fer, à l'état colloïdal ou subcristallin (latérites, bauxites, minerais de fer, etc.). Sa formation remonte à la période

où la bauxite se trouvait à l'état gélique, dans un milieu imprégné d'eau, c'est-à-dire à la diagénèse. Pour expliquer la formation des pisolithes ou des oolithes on peut invoquer les précipitations rythmiques sur un noyau libre, qui se produisent par diffusion d'un électrolyte dans un gel. Ce phénomène reproduit artificiellement par LIESEGANG (54), est connu sous le nom d'anneaux de Liesegang. Quant à la structure «perlitique» elle serait due au concrétionnement d'un composé alumineux, qui isole des portions d'un dépôt meuble non encore cristallisé (48).

2. *Examen microscopique.*

L'examen microscopique d'un grand nombre de bauxites d'Europe centrale s'avère beaucoup moins fructueux que celui de certains types français microferriques, ou de certaines bauxites roumaines à diaspore. Si nous passons en revue les différentes études entreprises sur la bauxite, nous y trouvons bien des divergences d'un auteur à l'autre; sur un point cependant tous les auteurs semblent être d'accord : c'est sur la nature cryptocristalline (on disait anciennement amorphe) de la masse principale de la bauxite.

Longtemps on a admis que cette roche était réellement amorphe ou colloïdale. A. LACROIX (40), dans sa « Minéralogie de la France », remarquait que l'examen microscopique des bauxites françaises fait voir que ces substances sont absolument «colloïdes». En 1913, dans son mémoire sur « Les Latérites de la Guinée », il notait que l'histoire des hydrates colloïdaux des latérites ne peut être séparée de celle de la bauxite, puisque celle-ci n'est qu'une latérite d'âge ancien, se trouvant dans des régions dont le climat n'est plus tropical.

Il propose pour désigner les hydrates d'alumine colloïdaux de remplacer les diverses appellations, telles que Kljakite α ou β (CORNU), sporogélite (KISPATIC), bauxite (DOELTER), par le terme *d'alumogel* suggéré par O. PAULS (58).

Dans les latérites il observe en outre l'hydrargillite (gibbsite), la limonite, la stilpnosidérite ou hydrate de fer colloïdal, l'hydrohématite ou turgite ($Fe_2O_3 . 2H_2O$) (?), la kaolinite, l'halloysite, un hydrate de titane, auquel il donne le nom de Doelterite ($TiO_2 . 2H_2O$) et un peu de psilomélane.

Dans les bauxites françaises, J. DE LAPPARENT (44), faisant usage de forts grossissements, parvient à reconnaître quelques autres constituants. A côté des types cryptocristallins ou amorphes courants, il a décrit certains types où la cristalli-

nité des constituants est plus développée. Telles sont par exemple les bauxites de Camparoux (Var), constituées par de petits pisolithes de gel alumino-ferrique (alumogel + turgite) craquelés, pris dans une matrice, formée essentiellement de gibbsite largement cristallisée, ou cette bauxite siliceuse des Cannonettes (aux Baux) dans laquelle les parties cryptocristallines confinent à des portions faiblement cristallisées formées de vermicules de kaolinite ou d'halloysite avec de menus cristaux d'hématite, de goethite et de gibbsite, associés à des masses largement cristallisées de calcite. Si le type de Camparoux est relativement abondant dans tout le Nord Varois, celui des Cannonettes, au pied du village des Baux, n'est pas des plus courants.

Plus à l'Est, dans le pays de Fenouillet, J. DE LAPPARENT signale encore des bauxites cristallines à diaspore, renfermant une phyllite verte qu'il assimile à la nontronite, silicate de fer; enfin et c'est là le type le plus intéressant que nous connaissions parmi toutes les bauxites, il a découvert dans les gisements de l'Ariège, à Péreille et au Cadarcet, une bauxite blanche dans laquelle il a distingué des amas d'une nouvelle espèce cristalline d'hydrate d'alumine. C'est la première fois que l'on donnait une description de l'hydrate d'alumine reconnu aux rayons X par BOEHM (225) et auquel cet auteur avait donné le nom impropre de «bauxite». Ce constituant essentiel d'un grand nombre de bauxites, a été désigné par J. DE LAPPARENT sous le nom de «boehmite». Il correspond à un monohydrate d'alumine possédant une structure différente de celle du diaspore. Les cristaux de boehmite se voient dans certaines bauxites siliceuses au voisinage du toit, dans les gisements surmontés par des formations charbonneuses. Le titane, présent dans toute bauxite, en faible proportion, s'y trouve, selon J. DE LAPPARENT à l'état de poussière réfringente de rutile ou d'anatase.

De son côté, KISPATIC, travaillant sur des bauxites croates, en traitant des poudres par différents acides (HCl, H_2SO_4, HF) a déterminé les constituants suivants : le diaspore, un monohydrate d'alumine amorphe qu'il a désigné sous le nom de *sporogélite*, et qu'il considère comme un gel du diaspore, la gibbsite et une dizaine de minéraux accessoires. Selon cet auteur, l'hématite et la limonite sont difficiles à reconnaître. Dans une bauxite lutétienne de Drnis, la masse principale est formée de sporogélite, avec des paillettes de gibbsite. Parmi les minéraux accessoires, il signale le zircon, le rutile, la tourmaline et le disthène. Le quartz est difficile à observer. L'a-

nalyse de la bauxite de Wochein qu'il a examinée, avec 61,31 % de SiO_2, ne correspond pas à une bauxite.

A la suite des travaux de J. DE LAPPARENT, TUCAN (136) a repris l'étude microscopique des bauxites siliceuses de Croatie et y reconnaît essentiellement de la sporogélite, du diaspore, de la pyrophyllite, de la kaolinite, de l'hématite et les minéraux accessoires habituels : rutile, zircon, apatite, calcite, tourmaline, etc. Il signale en outre dans trois bauxites siliceuses : celles de Skocaj, de Vratce et de Rudolpolje, la présence de cristaux de boehmite, si petits qu'ils ne permettent pas d'examen optique et cristallographique. Ce n'est que par analogie avec la description qu'en donne J. DE LAPPARENT qu'on peut les identifier à de la boehmite.

Dans une bauxite lutétienne de Drnis (Dalmatie) il ne trouve que de la sporogélite, de l'hématogélite (hématite colloïdale) avec de petits cristaux de gibbsite et les minéraux accessoires : rutile, zircon, calcite, chlorite, etc. Dans ces différentes bauxites, il ne lui a pas été possible d'identifier la goethite et l'halloysite.

E. DITTLER (146) de son côté, examinant la bauxite de Gant en Hongrie y trouve un mélange amorphe d'oxyde de fer et d'hydrates d'alumine, parmi lesquels il signale le monohydrate subcristallin ou gélique $Al_2O_3 . H_2O$: la boehmite, qu'il a déterminée aux rayons X. Le fer se trouve sous forme d'hématite ou d'hydrohématite dans laquelle l'eau est liée à la façon de l'eau des zéolithes. La pyrolusite et le psilomélane sont fréquents. Comme minéraux accessoires il signale un peu de diaspore et très peu de quartz. Il ne trouve dans cette bauxite ni gibbsite, ni limonite.

Dans les bauxites du Sanntal, il observe des grains dont l'indice de réfraction est de 1,56 - 1,57, dans lesquels il n'est pas possible de distinguer s'il s'agit de kaolin ou de gibbsite. La gibbsite n'apparaît pas sous forme cristalline. Les particules amorphes correspondent à la boehmite subcristalline que DITTLER appelle sporogélite. Le fer se trouve sous forme d'hématite ou d'hydrohématite également subcristalline. Selon C. FOX (25), l'examen microscopique des bauxites des Indes montre de la gibbsite cristalline, surtout dans la matrice des types pisolithiques. On ne reconnaît pas d'autres minéraux.

Les recherches faites en Russie sur les bauxites de Tichwin, ou du Turkestan confirment en partie les résultats obtenus sur les bauxites d'Europe.

J.-M. ANSHELES (212), traitant des poudres de bauxite, y décèle de la gibbsite, un minéral isotrope à indice élevé (1,78)

assimilé à la sporogélite ou gel d'alumine, des oxydes de fer bruns, de la magnétite, de la kaolinite sous forme de vermicules (Leverrierite). Parmi les minéraux accessoires, il signale des grains de rutile, de zircon et de tourmaline.

Au microscope, l'examen de coupes minces et de poudres obtenues par désagrégation et lévigation de la bauxite dans l'eau permet de voir au milieu d'une masse apparemment amorphe, en réalité subcristalline, des empilements de petits cristaux de gibbsite. Les lamelles détachées de ces empilements ont fréquemment un contour hexagonal; elles sont incolores et présentent souvent la macle polysynthétique caractéristique de la gibbsite. Ces amas de cristaux idiomorphes ne se rencontrent pas dans toutes les bauxites. On observe en outre quelques minéraux accessoires de petites dimensions tels que la tourmaline, le zircon, le rutile, l'anatase.

Si la détermination microscopique des minéraux constituants de la bauxite reste particulièrement délicate dans le cas des bauxites ferriques, en raison de l'opacité du gel alumineux-ferrique et de la dimension fort réduite des éléments cristallisés, il ne faut pas en conclure que la bauxite n'est formée que par une masse amorphe ou colloïdale. L'analyse thermique et l'analyse aux rayons X nous montrent au contraire qu'elle est constituée en grande partie par des minéraux à l'état subcristallin (voir tableau IV, p. 145).

3. *Analyse thermique différentielle.*

L'analyse thermique a fait l'objet d'un grand nombre de travaux sur lesquels je ne m'étendrai pas ici.

Je me bornerai à rappeler que c'est à Henri Le Chatelier (245) que sont dues les premières recherches de ce genre, sur les silicates hydratés d'alumine. Jean Orcel a développé l'emploi de cette méthode et l'a appliquée à l'étude d'un grand nombre de minéraux.

Récemment, elle a été reprise aux Etats-Unis pour l'anaylyse des roches argileuses et de minéraux alumineux par Grim-Rowland, Norton (253) et Speil (260). Cette méthode d'analyse d'un mélange, qui consiste à déceler au cours de son échauffement la vitesse des réactions thermiques dont il est le siège, permet d'obtenir une courbe caractéristique pour les divers hydrates étudiés. Cette courbe peut être complétée par l'étude de la déshydratation, ou mesure de pertes de poids en fonction de la température. Ces deux types de courbes se prêtent à l'étude de mélanges relativement simples, tels que

les bauxites; sitôt que le mélange devient plus complexe, il est plus difficile de les interpréter.

Les recherches de déshydratation faites sur les constituants de la bauxite ont donné des résultats parfois divergents selon les méthodes qui ont été employées. Ces divergences sont dues, ainsi que le remarque SCHWIERSCH (258), aux différentes définitions données à la température de dissociation. Pour HABER (237), la température de dissociation correspond à la température des pertes d'eau sensibles, pour STEMPFEL (238) elle est la température de désagrégation explosive, pour POSNJAK et MERWIN elle est la température de la perte d'eau continue.

J'indique dans le tableau ci-dessous, les températures de dissociation des minéraux hydratés, selon divers auteurs.

Tableau des températures de dissociation des hydrates de Fe et Al. (en degrés C.)

Hydrates	STEMPFEL	GYÖRGY	DELYANNIS	SCHWIERSCH	ORCEL	SPEIL
Gibbsite	220-280	250-310	—	180-200	350-500	250-350
Boehmite	480	—	450-500	380-400	—	—
Diaspore	480	450-550	400-450	380-400	520-650	520-620
Limonite	—	200-300	—	160-200	350-500	—
Goethite	320-440	—	—	200-220	450-550	320-400
(Kaolin)	450-580	450-550	—	450-750	550-700	550-650
				(CALSOW)	(950-1000)	(980)

HACKSPILL et STEMPFEL (238) étudient la décomposition des hydrates par la mesure des pressions de vapeur d'eau, à l'aide d'un manomètre enregistreur.

J. GYÖRGY (157) et DELYANNIS (229) mesurent la déshydratation par pesées et construisent la courbe des pertes de poids en fonction de la température.

H. SCHWIERSCH (258) fait ses essais à l'aide du tensieudiomètre de HUETTIG, et étudie la déshydratation à l'aide de courbes isobares.

J. ORCEL (254) et S. SPEIL (260) utilisent l'analyse différentielle selon le principe LE CHATELIER-SALADIN. Les températures de dissociation qu'ils enregistrent sont sensiblement plus élevées que celles que l'on obtient par les autres méthodes. Cette différence, de l'ordre de 100°, est due à la rapidité de l'échauffement. Nos propres expériences confirment cette observation.

Malgré les petites divergences qui existent entre ces résultats, on constate qu'ils indiquent tous un décalage marqué entre la température d'émission d'eau de la gibbsite et celle

de la boehmite. Entre la déshydratation de la boehmite et celle du diaspore, DELYANNIS (229) observe une variation assez sensible pour apparaître sur la courbe. SCHWIERSCH constate également une légère différence entre les courbes de déshydratation des deux monohydrates, mais il estime qu'elle est trop peu sensible pour distinguer ces deux minéraux. Sur la courbe différentielle il n'est guère possible de noter une différence entre l'inflexion due à la dissociation de la boehmite et l'inflexion due au diaspore. L'analyse thermique différentielle ne permet donc pas de distinguer entre ces deux monohydrates.

En ce qui concerne les hydrates de fer, on sait qu'il n'en existe que deux variétés définies dans la nature : la *goethite* et la *lépidocrocite*, possédant toutes deux la même formule FeO . OH . Les autres hydroxydes se ramènent tous à l'un de ces deux hydrates, qui diffèrent entre eux par leur structure. Il existe entre la lépidocrocite et la goethite la même relation qu'entre la boehmite et le diaspore. F. HABER (237) a classé les hydroxydes en deux séries :

Série α		Série γ
Diaspore	AlO . OH	*Bœhmite*
Gœthite	FeO . OH	*Lépidocrocite* (Rubinglimmer)

La limonite, dont la formule théorique est $Fe_2O_3 . 1,5H_2O$, n'est qu'une goethite retenant une certaine proportion d'eau par adsorption. L'existence d'un dihydrate ($Fe_2O_3 . 2H_2O$), la xanthosidérite, a été mise en doute par FISCHER. La limonite se dissocie à des températures inférieures à celles de la goethite. D'après GYÖRGY et SCHWIERSCH, cette température de dissociation est légèrement inférieure à celle de la gibbsite. Sur la courbe différentielle les inflexions endothermiques de la gibbsite et de la limonite se confondent.

Dans le *Kaolin* l'eau est éliminée en petite quantité jusqu'à 500°, d'une façon continue. Entre 500° et 600° il se produit une émission brusque, avec forte absorption de chaleur. Sur la courbe différentielle l'inflexion endothermique du kaolin est très voisine de celle des monohydrates d'alumine, de sorte qu'il n'est pas possible de distinguer ces minéraux. Lorsqu'on continue à élever la température il se produit, aux environs de 950°, un phénomène exothermique, qui correspond à la transformation du kaolin en mullite ($3Al_2O_3 . 2SiO_2$) et tridymite (SiO_2). Ce phénomène se marque sur la courbe différentielle par une inflexion de sens opposé à la précédente. S. SPEIL (260) a indiqué une méthode quantitative,

basée sur la mesure des surfaces circonscrites par les crochets endo- et exothermiques. En préparant des mélanges à proportion connue de kaolinite et de diaspore, il parvient à utiliser la surface du crochet exothermique du kaolin pour évaluer la proportion de ce constituant lorsqu'il est mêlé à du monohydrate d'alumine. Il faut pour faire ces mesures quantitatives, que l'élévation de la température soit une fonction linéaire du temps.

Dans l'interprétation des courbes différentielles, je me suis borné à des estimations qualitatives. Celles-ci peuvent être comparées aux proportions des constituants théoriques (kaolin, gibbsite, boehmite, goethite) obtenus par le calcul à partir de l'analyse (voir tableau, p. 111).

Nous avons utilisé pour l'étude des bauxites dinariques et hongroises, l'analyse thermique différentielle. Dans l'appareil que nous employons, l'élévation de la température n'est pas proportionnelle au temps. D'autre part, l'appareil enregistreur (Trüb, Taüber et Co.) ne permet pas d'enregistrer des déviations de la courbe différentielle vers la gauche. Dans ces conditions, les phénomènes exothermiques ne sont marqués que par quelques irrégularités.

La substance à étudier d'une part, et un corps témoin (alumine ou bauxite calcinée à 1000°) d'autre part, sont placés dans deux éprouvettes en acier au chrome, au centre d'un four électrique. On les soumet à un échauffement rapide de l'ordre de 10° par minute, jusqu'à 1000° environ. Les mesures de température se font à l'aide de deux couples thermoélectriques nickel-nickel chrome plongés dans les deux éprouvettes. L'appareil permet d'obtenir un diagramme à trois courbes.

1. La courbe des températures du four, mesurées sur le corps témoin (Ta) en fonction du temps : $Ta = f(t)$.
2. La courbe des températures de la bauxite (Tb) en fonction du temps : $Tb = f(t)$.
3. La courbe des différences de température $Ta\text{-}Tb = \Delta T$ en fonction du temps : $\Delta T = f(t)$.

Les deux premières courbes sont généralement trop rapprochées pour permettre de lire les variations de température du corps à étudier. La courbe différentielle par contre, permet d'observer plusieurs points singuliers (inflexions) caractéristiques des différents hydrates. La combinaisons des trois courbes précédentes donne la température à laquelle se produisent les phénomènes thermiques (endo- ou exothermiques) : le four

utilisé n'ayant pas une température linéairement croissante, la courbe différentielle obtenue ne peut pas être interprétée quantitativement ainsi que le font ORCEL et SPEIL pour des mélanges binaires.

Le diagramme différentiel présente l'avantage d'être enregistré automatiquement à l'aide d'un instrument simple, tandis que la courbe de déshydratation n'est obtenue que par de nombreuses pesées.

Nous avons enregistré plusieurs centaines de courbes différentielles avec des bauxites de toutes provenances et de qualités différentes.

Si nous examinons tout d'abord les bauxites pauvres en silice ($SiO_2 < 5$ %) nous obtenons trois types de courbes différentielles caractéristiques (voir figure 12) :

1. Une courbe présentant une inflexion endothermique très accentuée lorsque le corps témoin atteint 240° à 250°. (Température de décomposition du trihydrate d'alumine).
2. Une courbe présentant une inflexion endothermique accentuée lorsque le corps témoin atteint 470° à 480°. (Température de décomposition des monohydrates).
3. Une courbe présentant deux inflextions plus ou moins accentuées ou égales entre elles, à 240° - 250° et à 470° - 480°. (mono- et trihydrates associés).

Ces courbes sont caractéristiques de trois types de bauxite.

1. Bauxite renfermant essentiellement du trihydrate d'alumine; *bauxite à gibbsite.*
2. Bauxite renfermant essentiellement du monohydrate d'alumine; *Bauxite à boehmite ou diaspore.*
3. Bauxite à gibbsite et à monohydrate associés.

(Voir fig. 12). Sur ces courbes, les températures n'ont pas été indiquées.

L'analyse thermique permet ainsi d'évaluer la proportion du trihydrate et des monohydrates; en revanche, les courbes différentielles obtenues avec les bauxites à boehmite et les bauxites à diaspore sont pratiquement identiques (fig. 12, courbes 43-45) et ne permettent pas de distinguer ces deux monohydrates. Il faut, pour établir cette distinction avoir recours à d'autres méthodes.

Si l'on examine des bauxites de plus en plus siliceuses, on constate que leur courbe différentielle présente une anomalie aux environs de 950°. C'est le crochet exothermique du kaolin qui devient de plus en plus apparent.

Il est intéressant de noter que sur les diagrammes de bauxites siliceuses et de terra rossa, l'alumine libre se trouve généralement sous forme de gibbsite, ainsi qu'on le voit par le premier crochet de la courbe différentielle (fig. 12, courbes 46-50). Comme le crochet endothermique de la boehmite se confond avec celui du kaolin, il n'est pas possible de dire si une partie de l'alumine se trouve aussi sous forme de boehmite.

Nous nous proposons de développer par la suite l'analyse thermique différentielle afin d'obtenir des renseignements quantitatifs. Pour le moment nous nous sommes borné à en tirer des données qualitatives.

Nous avons reproduit sur la fig. 12 les courbes différentielles d'une cinquantaine d'échantillons de bauxites. Dans la première rangée, les cinq courbes numérotées de I à V représentent les différents types obtenus avec des bauxites pauvres en silice.

La courbe I présente une pointe endothermique très accentuée entre 220 et 320°, correspondant à l'émission d'eau de la gibbsite.

Courbe II : deux pointes inégales. La pointe inférieure est plus accentuée que la pointe supérieure, ce qui indique une forte proportion de gibbsite par rapport au monohydrate.

Courbe III : deux pointes égales. La gibbsite est en proportion à peu près égale à celle du monohydrate.

Courbe IV : deux pointes inégales. La pointe inférieure est plus courte que la pointe supérieure. La gibbsite est en proportion nettement inférieure à celle du monohydrate.

Courbe V : une pointe endothermique accentuée entre 450 et 520° correspondant à l'émission d'eau des monohydrates. Sur cette courbe V sont indiquées les deux variables du diagramme : les températures en abscisse, le temps en ordonnée.

Chaque série indiquée par un chiffre romain groupe les échantillons dont la courbe différentielle est du même type. On voit ainsi que des bauxites de provenance très diverses peuvent avoir une même courbe thermique. A titre de comparaison, nous avons reproduit les courbes de quelques latérites tropicales; leurs courbes entrent essentiellement dans le groupe I, mais on en trouve également dans les groupes II et III, ce qui montre que les latérites renferment aussi une certaine proportion de monohydrate (boehmite).

Dans un groupe spécial V bis, nous comparons les courbes de quelques bauxites à diaspore à celles d'une bauxite à boehmite française (courbe N° 42). Au point de vue thermique, elles ne diffèrent pas de cette dernière (contrôle aux

rayons X). La méthode ne convient donc pas pour distinguer ces deux espèces minérales.

Enfin les Nos 46 à 50 représentent les courbes de terra rossa. Outre les deux pointes endothermiques on observe une anomalie aux environs de 950°, qui correspond au phénomène exothermique du kaolin. La pointe inférieure représente l'émission d'eau de la gibbsite, la seconde pointe peut correspondre au kaolin ou au monohydrate. D'après l'analyse on peut admettre qu'il s'agit de la pointe du kaolin. Le phénomène exothermique du kaolin ne se marque que par quelques irrégularités de la courbe. L'intérêt de ces courbes est de montrer que dans la terra rossa, l'alumine libre doit se trouver à l'état de gibbsite. Dans le tableau suivant, nous donnons les analyses des échantillons dont nous avons reproduit la courbe thermique différentielle et indiquons la proportion calculée de chacun des constituants hydratés : kaolin, gibbsite, boehmite, goethite.

TABLEAU III

	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	P. F.	Al_2O_3	K	Gi	Boe	Goe	
I Portole (Istrie)	0,48	0,39	0,04	34,82	64,20	1,0	99,0	—	—	
II Promina (Dalmatie)	1,52	30,24	4,96	18,98	44,30	2,0	43,0	26,0	—	
III Vucipolje (Herzég.)	0,86	29,33	3,09	15,12	51,45	1,8	25,3	40,7	—	
IV Citluk (Herzég.)	0,83	20,66	3,32	16,20	58,81	1,8	24,8	48,0	—	
V Buie (Istrie)	0,83	24,78	3,52	12,04	58,83	1,8	6,5	63,7	—	
1. Portole (Istrie)	0,85	0,92	0,03	34,88	63,32	1,8	97,0	—	—	X
2. Barbana (Istrie)	1,28	21,41	0,13	26,28	50,85	2,7	76,0	—	—	
3. Promina (Dalmatie)	1,03	21,79	2,27	25,68	49,23	2,2	72,3	—	3,7	X
4. Imotski (Dalmatie)	0,88	19,24	2,07	27,85	49,68	1,9	75,0	—	15,9	
5. Halimba (Hongrie)	2,88	27,79	1,87	23,37	43,08	6,2	62,0	—	10	
6. Halimba (Hongrie)	0,79	23,67	2,12	25,72	45,92	1,7	69,5	—	14,6	
7. Indes angl. (Bailur)	0,96	3,63	2,46	32,29	60,66	2,1	91,2	1	—	
8. Bintam (Indes holl.)	1,92	12,95	0,94	29,65	54,55	4,1	81,0	—	11,1	X
9. Obrovazo (Dalmatie)	4,26	20,90	2,64	24,64	45,86	9,5	65,0	—	13,0	X
10. Kalun/Drnis (Dalmat.)	1,05	19,36	2,50	24,24	52,85	2,3	63,2	13,0	—	X
11. Promina (Dalmatie)	0,79	25,06	4,05	19,22	50,88	1,7	43,2	26,0	—	X
12. Citluk (Herzég.)	1,18	24,67	3,10	19,29	51,50	2,5	42,7	27,0	—	
13. Domanovic (Herzég.)	1,68	23,33	2,41	21,63	50,95	3,6	53,0	18,0	—	
14. Zagorje (Bosnie)	0,48	19,88	3,38	19,62	56,42	1,0	41,0	34,5	—	

P. F. Perte au feu

K = % kaolin

Gi = % gibbsite

Boe = % boehmite

Goe = % goethite

X = échantillons examinés aux rayons X.

	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	P. F.	Al_2O_3	K	Gi	Boe	Goe	
15. Indes anglaises	1,23	9,14	3,23	21,95	64,45	2,6	44,2	41,0	—	
16. Buie (Istrie)	4,48	32,40	3,19	16,39	43,54	9,6	34,3	20,6	—	
17. Albona (Istrie)	2,84	20,84	2,28	18,42	55,62	6,1	34,8	36,0	—	
18. Citluk (Herzég.)	2,08	21,14	2,88	17,92	55,91	4,5	32,9	38,5	—	
19. Stolac (Herzég.)	1,70	21,97	2,87	17,45	56,01	3,7	31,0	40,5	—	
20. Nyirad (Hongrie)	2,24	9,37	1,87	21,93	64,59	4,8	43,5	41,0	—	
21. Alsopere (Hongrie)	7,49	25,98	2,57	14,79	49,17	16,10	21,3	34,2	—	
22. Alsopere (Hongrie)	2,05	29,22	2,60	15,00	51,13	4,4	24,0	39,5	—	
23. Côte d'Or (Afr. occ.)	0,67	3,36	3,11	22,18	70,65	1,5	40,5	50,5	—	
24. Camparoux (France)	1,38	24,08	2,93	15,96	55,01	3,0	25,7	43,5	—	X
25. Traba (Istrie)	3,04	21,50	3,42	12,74	59,30	6,5	7,5	60,5	—	
26. Kalun (Dalmatie)	2,85	21,98	3,53	14,97	56,67	6,1	19,4	49,0	—	
27. Drnis (Dalmatie)	0,72	21,76	3,53	17,05	56,94	1,6	29,2	43,5	—	
28. Zagorje (Bosnie)	3,36	16,80	3,03	18,41	58,40	7,2	31,8	41,3	—	
29. Citluk (Herzégov.)	3,22	20,86	3,22	16,21	56,35	6,9	24,7	44,5	—	
30. Przenuze (Herzégov.)	4,76	22,74	2,93	14,59	54,98	10,5	17,9	46,2	—	
31. Alsopere (Hongrie)	6,22	23,85	2,98	14,46	54,59	13,4	16,5	45,0		
32. Alsopere (Hongrie)	5,32	24,28	2,93	14,32	53,15	11,4	17,5	43,7	—	
33. Buon Castel (Istrie)	1,58	13,20	2,91	13,61	68,70	3,4	5,5	75,2	—	
34. Rudopolje (Croatie)	10,10	17,15	1,99	12,10	58,66	21,7	0,8	58,2	—	
35. Lecevice (Dalmatie)	1,11	15,36	3,78	14,89	64,86	2,4	14,0	64,7	—	X
36. Kadim (Bosnie)	0,93	18,92	3,87	13,53	62,75	2,0	9,8	65,5	—	X
37. Misirada (Herzégov.)	3,31	21,13	3,76	13,19	58,61	7,1	10,2	57,8	—	X
38. Bar (Monténégro)	4,41	15,70	3,12	14,38	62,34	9,5	11,5	60,6	—	X
39. Sanntal (Alpes de Stein)	5,06	17,18	3,42	12,77	61,50	10,9	5,0	63,5	—	
40. Harsany (Hongrie)	6,38	8,33	3,54	14,26	67,59	6,9	24,7	44,5	—	
41. Gant (Hongrie)	0,38	17,64	3,46	13,54	64,90	0,8	8,5	69,2	—	
42. *Bauxite à bœhmite*										
Combecave (France)	1,52	4,07	3,70	15,59	75,12	3,3	9,5	79,2	—	X
Bauxites à diaspore										
43. Amphissa (Grèce)	0,66	7,11	3,50	14,15	74,58	1,4	3,8	84,7	—	X
44. Dobresti/Bihar (Roum.)	0,34	5,47	4,31	14,35	75,53	0,7	4,0	85,5	—	X
45. (Chine)	1,42	14,72	4,51	13,94	65,41	3,1	9,5	68,5	—	X
Terra rossa										
46. Nyirad (Hongrie) kaolin	43,62	1,44	0,21	14,06	40,57	93,5	1,8	3,1	—	
47. Halimba (Hongrie)	37,31	13,58	1,37	12,37	37,37	80,5	1,9	2,8	—	
48. Halimba (Hongrie)	33,45	14,95	1,92	13,23	37,05	72,0	6,8	4,9	—	
49. Halimba (Hongrie)	28,06	10,93	1,77	17,52	41,72	60,2	25,1	1,8	—	
50. Halimba (Hongrie)	20,18	18,66	1,66	18,09	41,41	13,2	31,0	5,0	—	

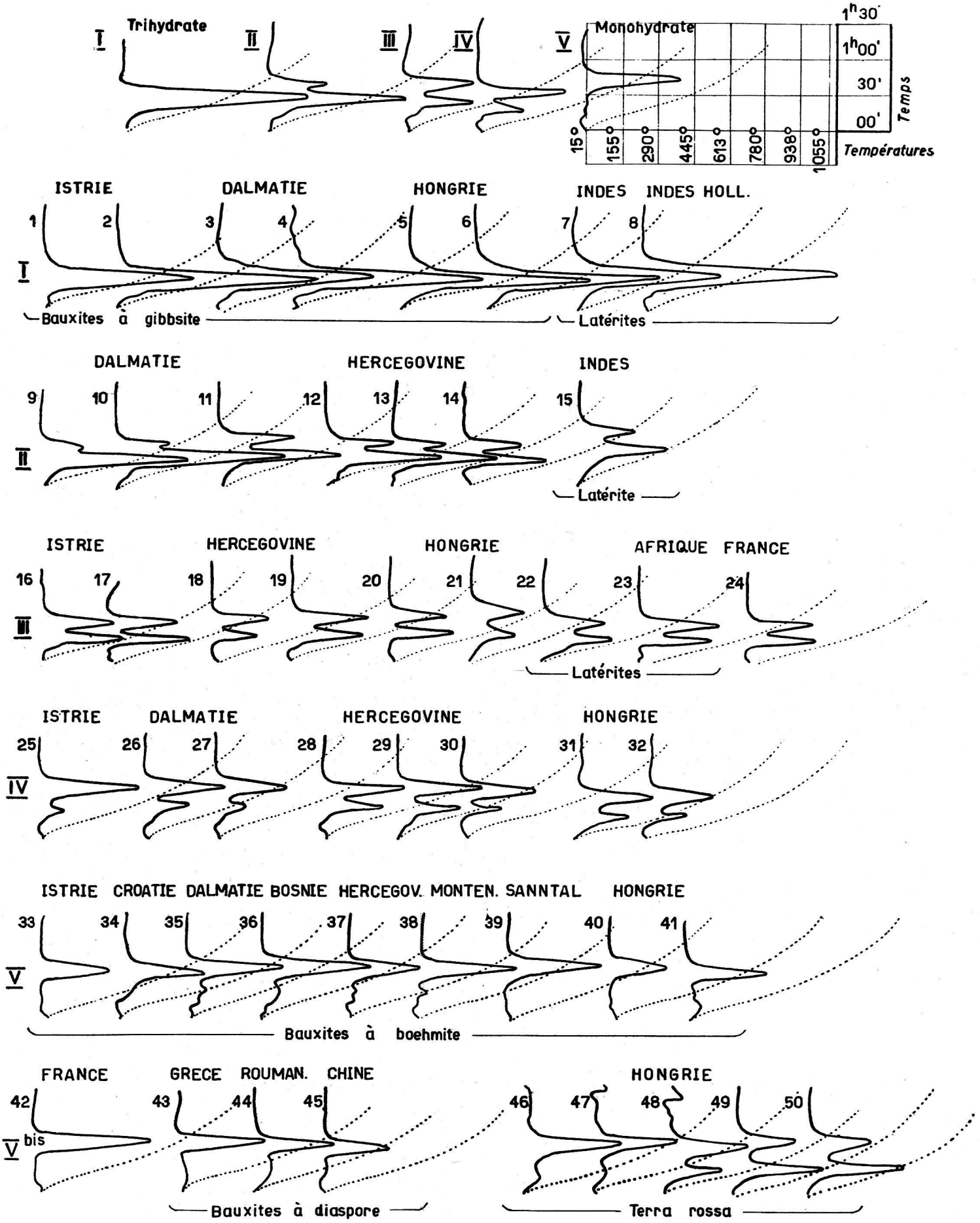

FIG. 12. — Courbes d'analyse thermique différentielle de quelques bauxites.

4. *Analyse radiologique.*

BOEHM (225) a le premier démontré que le monohydrate d'alumine pouvait exister sous deux formes distinctes :

le diaspore et *la bauxite* (dénommée «*boehmite*» par J. DE LAPPARENT).

Ces formes correspondent au point de vue structural aux deux monohydrates de fer : la goethite et la lépidocrocite, et il est possible de les distinguer au moyen des rayons X.

D'autre part on avait constaté qu'en traitant par le procédé BAYER [1] des bauxites de provenance différente, mais de composition chimique identique, le rendement de la dissolution pouvait varier dans de larges mesures. C'est ainsi que la bauxite du Bihar ou de la Grèce est très peu soluble dans la soude caustique, tandis que les bauxites transdanubiennes ou dinariques le sont parfaitement.

Cette insolubilité de certaines bauxites était attribuée anciennement à la présence de corindon. J. DE LAPPARENT (47) et surtout DELYANNIS (227) ont pu montrer que cette solubilité était fonction de la teneur en diaspore et que cette teneur pouvait être décelée soit par des mesures de solubilité, longues et fastidieuses, soit par une analyse rapide des poudres aux raxons X. A. ROTH (257) est même parvenu à interpréter quantitativement les radiogrammes de DEBYE et SCHERRER.

Etant donné que la valeur industrielle d'une bauxite dépend de sa solubilité, c'est-à-dire de sa teneur en diaspore, la détermination des deux monohydrates doit accompagner toute analyse de bauxite; c'est pourquoi les laboratoires modernes remplacent de plus en plus les longs essais de solubilité à l'autoclave par l'analyse rapide aux rayons X.

J'ai eu l'occasion de soumettre dans nos laboratoires de recherches de Neuhausen un grand nombre de nos échantillons à l'analyse radiologique; qu'il me soit permis de remercier ici très vivement M. le Dr Rohner qui a bien voulu se charger de ce travail pour obtenir des diagrammes aussi nets que possible.

L'appareil à rayons X utilisé est un modèle «Siemens-Kristalloflex» avec anticathode de cuivre ($\lambda = 1{,}54$ Å) sans filtre.

[1] Procédé de fabrication d'alumine par dissolution de la bauxite dans la soude caustique et sous pression.

Intensité :	30 KV, 19 mA;
Diaphragme :	côté ampoule, fente 0,8 x 3 mm;
	côté poudre, circulaire ∅ 0,5mm;
Porte objet :	poil de blaireau de 0,2 mm ∅ ;
	la poudre est fixée à l'aide de vaseline;
Durée d'expos. :	90 min. sur film Agfa-Laue.

A titre de comparaison nous avons reproduit sur la figure 13 les diagrammes obtenus avec les hydrates purs en utilisant pour cela les corps suivants :

un diaspore de l'Oural (collection AIAG. de Neuhausen)
une boehmite synthétique (obtenue selon le procédé de HAVESTADT et de FRICKE, 239)
une gibbsite d'Istrie (collection AIAG. de Neuhausen).

L'examen d'un grand nombre de bauxites de diverses provenances permet de les ramener à l'un des trois diagrammes-types correspondant aux trois types suivants :

1. bauxite à gibbsite,
2. bauxite à bœhmite,
3. bauxite à diaspore.

L'examen des bauxites aux rayons X présente certaines difficultés dues à la finesse des cristaux. Les cristallites dont le diamètre est inférieur à 10^{-4} mm. donnent une image élargie des raies. La présence de particules plus fines ou amorphes rend les lignes diffuses et le diagramme indistinct.

On remarque cependant que presque toutes les bauxites donnent un diagramme de DEBYE et SCHERRER perceptible ce qui démontre qu'elles sont généralement constituées par des particules cristallines très fines. L'analyse aux rayons X n'indique cependant que le composant dominant; elle est donc insuffisante par elle-même, mais sert de complément à l'analyse chimique et à l'analyse thermique, surtout lorsque cette dernière indique la présence de monohydrate d'alumine. L'examen aux rayons X peut paraître superflu, lorsqu'on compare à l'œil nu une bauxite à diaspore grecque avec une bauxite à boehmite française. Il apparaît immédiatement que la première est beaucoup plus dure et compacte que la seconde. La bauxite à diaspore de Grèce ou de Roumanie est en effet extrêmement dure et se distingue facilement d'une bauxite à boehmite. Il existe cependant des bauxites à diaspore dont l'aspect friable et poreux est identique à certaines bauxites à boehmite, telle la bauxite à diaspore de Nézsa (Hongrie) ou celle de Kweichow (Chine).

L'examen macroscopique n'est donc pas toujours suffisant pour déterminer le type de monohydrate en cause. D'autre part l'analyse aux rayons X permet, dans une certaine mesure, d'apprécier la proportion de chacun des monohydrates dans les bauxites qui les renferment tous deux; elle est donc devenue indispensable pour juger rapidement de la valeur d'une bauxite.

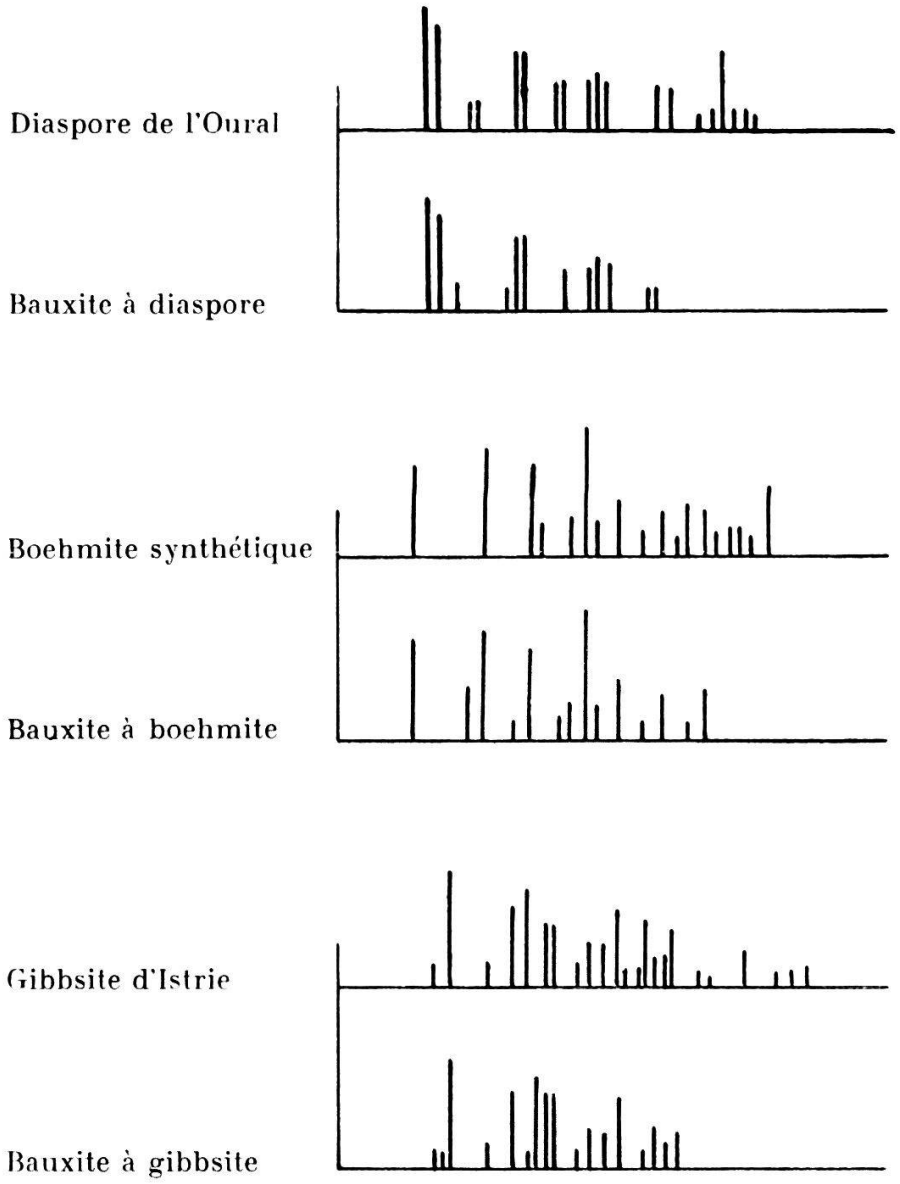

FIG. 13. — — Diagrammes aux rayons X.

5. *Composition minéralogique des bauxites dinariques et transdanubiennes.*

L'application des méthodes précédentes à l'étude des bauxites dinariques et transdanubiennes nous conduit aux conclusions suivantes :

Parmi toutes les bauxites étudiées de la Province dinarique nous n'avons pas rencontré de bauxite à diaspore. Il convient cependant de noter que Fr. Tucan (136) en a signalé en Croatie, dans quelques gisements triasiques (Teslic, Grgin brieg, Mazin). Les bauxites triasiques que j'ai eu l'occasion d'examiner proviennent de Rudolpolje et sont toutes des bauxites à boehmite.

Les bauxites de la fin du Crétacé sont formées de 50 à 70 % de boehmite et d'une petite proportion de gibbsite. Dans certains gisements d'Istrie on trouve cependant de la bauxite pouvant renfermer jusqu'à 35 % de gibbsite et même par endroits certains petits amas de gibbsite presque pure, mais ce sont plutôt des exceptions à ce niveau.

Enfin, les bauxites lutétiennes de Dalmatie, de Bosnie et d'Herzégovine, sont formées avant tout de gibbsite (50 à 75 %) et d'une proportion variable de boehmite. On y trouve également quelques types de bauxite où la proportion de boehmite est supérieure à celle de la gibbsite.

Nous voyons donc que dans la province dinarique, les trois horizons à bauxite que nous y avons décrits sont caractérisés par trois types de bauxites :

Type carnien : bauxite à bœhmite et à diaspore,
Type sénonien : bauxite à bœhmite (faible proportion de gibbsite),
Type lutétien : bauxite à gibbsite (faible prop. de boehmite).

Dans la région transdanubienne où l'on trouve deux horizons de bauxite, on n'observe rien de semblable. Les différents types de bauxite sont distribués sans ordre apparent. Nous trouvons une *bauxite à diaspore* comprise entre le Trias et l'Oligocène à *Nézsa* (E du Danube).

La bauxite à boehmite s'observe dans les gisements suivants :

à *Gant* (Vértes) où elle est comprise entre le Trias et l'Eocène;
Alsopere (Bakony NE) entre le Trias et l'Aptien;
Nyirad (Bakony SW) entre le Trias et l'Eocène;
et probablement dans les gisements d'Ajka, d'O'Barok et de Sümeg.

Enfin *la bauxite à gibbsite* caractérise les gisements d'*Halimba* dans le SW du Bakony et ceux d'*Iszkaszentgyörgy*, à l'extrémité orientale du Bakony.

La bauxite dure du Mont Harsany, en Hongrie méridionale est formée en grande partie par de la boehmite à en juger par les photogrammes aux rayons X. Naray-Szabo et

NEUGEBAUER (250) y ont cependant reconnu du diaspore, ce qui ne paraît pas surprenant étant donné leur ressemblance avec les bauxites du Bihar.

Nous voyons donc qu'en Europe centrale, *le diaspore* n'apparaît que dans quelques rares gisements : dans la bauxite de Nézsa, d'âge indéterminé (Norien-Oligocène), dont il constitue l'élément essentiel; dans la bauxite du Crétacé inférieur d'Harsany et dans la bauxite carnienne de Croatie où il ne représente qu'un élément accessoire.

La boehmite forme le constituant principal de la plupart des bauxites d'Europe centrale. Elle prédomine dans les bauxites sénoniennes de la province dinarique et dans un grand nombre de gisements transdanubiens. On la trouve associée aussi bien au diaspore qu'à la gibbsite. Dans le massif central hongrois on constate dans certains gisements le passage graduel d'une bauxite à boehmite à une bauxite à gibbsite.

La gibbsite qui est le minéral caractéristique des bauxites latéritiques prédomine dans les gisements lutétiens de la Province dinarique. Elle forme également le minéral principal de quelques gisements transdanubiens (Halimba, I.sz.györgy) et se forme actuellement dans certaines terra rossa de la côte dinarique. On la trouve aussi sous forme cristalline dans les druses et les fissures des bauxites à boehmite; elle apparaît alors comme un minéral secondaire ce qui suppose une migration possible de l'alumine dans la masse de la bauxite.

DEUXIÈME PARTIE

LA GENESE DE LA BAUXITE

Le problème de la genèse de la bauxite a suscité à la fin du siècle dernier de nombreuses controverses, aujourd'hui fort atténuées. On ne s'accorde pourtant pas encore pour reconnaître à cette formation une origine unique. Je rappelle ici que lorsque je parle de bauxite, j'entends la bauxite proprement dite, c'est-à-dire le minerai d'aluminium lié aux roches carbonatées, tandis que j'utilise par extension le terme de latérite pour désigner la bauxite latéritique dérivée essentiellement des roches cristallines formées de silicates d'alumine, et qui est surtout développée dans les régions tropicales actuelles.

Certains auteurs voient dans la bauxite une substance analogue à la latérite et cherchent à la faire dériver d'une roche éruptive (théorie de la latérite), d'autres l'identifient aux résidus de la dissolution des calcaires (théorie de la terra rossa).

La tendance moderne concilie en quelque sorte les deux points de vue et admet que le résidu de la dissolution des calcaires a subi une altération comparable à la latéritisation [1].

Le résultat final peut être le même; dans ce cas la bauxite a une composition identique à celle d'une bauxite latéritique; généralement il est différent, la première ayant subi un «vieillissement» plus accentué que la seconde. Ce «vieillissement» se traduit par une déshydratation plus poussée : le trihydrate se transforme en monohydrate — ou par un changement de structure du monohydrate d'alumine : de boehmite en diaspore.

Chapitre premier : Les théories proposées.

Je passe rapidement en revue quelques-unes des diverses théories soutenues et me rallierai, après y avoir introduit certaines modifications, à celle qui s'adapte le mieux aux faits observés.

Les premiers auteurs qui ont traité le sujet ont vu dans la bauxite un produit éruptif de nature geysérienne, donc d'origine interne (Coquand 1870, Collot 1887).

Plus tard, on a considéré la bauxite comme le produit de l'altération d'une roche granitique dont les parties légères auraient été transportées à de grandes distances; ce serait donc une latérite apportée par le vent ou par les cours d'eau sur les grandes étendues calcaires qu'elle occupe aujourd'hui (Dieulafait 1881).

La ressemblance qui existe entre les dépôts de terra rossa actuels des régions méditerranéennes calcaires et les amas de bauxite fossile fréquemment recouverts de cette même terra rossa, a conduit certains auteurs à voir dans la bauxite une substance analogue à la terra rossa. C'est à M. Kispatic (104) et à Fr. Tucan (133) que l'on doit la première tentative tendant à montrer que la bauxite représente le résidu de la dissolution des calcaires. Fr. Tucan se fondant sur l'examen microscopique des minéraux accessoires des calcaires, des dolomies (131) et des «terra rossa» (132) conclut : 1° que la

[1] C'est avant tout J. de Lapparent, pour les bauxites françaises et F. Kerner v. Marilaun, pour les bauxites dinariques, qui ont abordé le problème de la genèse des bauxites. C. Fox, de son côté, a étudié plus particulièrement celui de la genèse des latérites.

terra rossa est le résidu insoluble des calcaires et des dolomies, dont elle constitue un élément authigène; 2° que la terra rossa est, par toutes ses propriétés, absolument identique à la bauxite et qu'entre les deux roches, il n'existe pas de différence. Cette affirmation un peu trop catégorique ne tient aucun compte de la composition chimique.

Malgré leur ressemblance, ces deux roches diffèrent par leur mode de gisement, par leurs propriétés physiques, par leur âge et même, pour un œil exercé, par leur couleur, mais surtout par leur teneur en silice.

C'est la principale objection que l'on puisse faire à cette théorie; elle est capitale et a contribué à la discréditer.

Tucan a bien constaté que certaines analyses accusaient une forte teneur en silice; mais il l'attribue au quartz ou à une forme de silice hydratée ($SiO_2 . 2H_2O$), gel qu'il suppose adsorbé par la sporogélite ($Al_2O_3 . H_2O$). Il faut convenir que la limite entre une bauxite siliceuse et une terra rossa est purement artificielle. Nous aurons l'occasion d'y revenir.

C'est à partir de ce moment que l'on distingue entre une *théorie latéritique* et une *théorie dite de la terra rossa*, pour expliquer l'origine de la bauxite.

On retrouve dans l'explication de la genèse des bauxites du Bihar, en Transylvanie, des opinions tout aussi contradictoires. Pour Szadeczky (64), qui a étudié essentiellement la région orientale, fortement disloquée et adjacente à de grandes coulées de dacite et de rhyolithe, l'origine hydrothermale paraît être indiscutable. Sans revenir sur la théorie hydrothermale et métasomatique proposée par R. Lachmann (39), je rappelerai pourtant qu'il fait provenir l'aluminium de ses bauxites de la teneur en argile des calcaires ambiants.

O. Pauls (58), reprenant l'hypothèse de Kispatic et Tucan admet que la substance qui a donné naissance à la bauxite se trouve entièrement contenue dans le calcaire du Malm et que la formation du minerai n'est que le résultat de la dissolution du calcaire.

En ce qui concerne la différence de composition chimique que l'on observe entre une terra rossa et une bauxite, il suppose que la silice de la terra rossa n'est pas liée sous forme de kaolin, mais se trouve essentiellement à l'état de quartz, mêlée à un hydrate d'alumine amorphe. Faisant alors intervenir les mouvements tectoniques, qui ont disloqué la surface calcaire et ses résidus, il admet que c'est au cours du remaniement de ces résidus par les eaux, que s'est opérée la séparation entre l'hydrate d'alumine et le quartz. Cette hypo-

thèse ne diffère de celle de KISPATIC et TUCAN que par l'idée d'une séparation de la silice.

F. KERNER DE MARILAUN (96) a montré que l'interprétation donnée par KISPATIC et TUCAN des bauxites dinariques, sous la forme de terres rouges (Roterden) fossiles, soulève certaines objections tant au point de vue minéralogique que géologique. Il faut cependant convenir qu'il est difficile d'en donner pour l'instant une meilleure. Il est en tous les cas exclu de voir dans les bauxites dinariques liées aux calcaires, des produits d'altération de roches éruptives, car on ne connaît pas de telles roches à proximité des gisements, ni même à de grandes distances à la ronde; d'autre part un transport par les eaux ou par le vent ne serait admissible que si l'on connaissait de la bauxite en relation avec ces roches éruptives.

Une première objection paraît surgir lorsque l'on compare la faible teneur du résidu insoluble des calcaires du Karst (voir TUCAN, 131) aux amas de bauxite. En effet, pour obtenir 1000 t. de résidu insoluble avec un calcaire à Rudistes qui en renferme 0,3 % environ, il faut dissoudre 123 456 m³ de ce calcaire (densité 2,7). La seconde objection réside dans la différence de composition chimique qui existe entre le résidu de la dissolution du calcaire et la bauxite.

Malgré ces objections, KERNER admet l'hypothèse de KISPATIC et considère les bauxites dalmates comme des « terra rossa » modifiées par le temps et par la pression. Si l'on trouvait de la bauxite dans les terra rossa actuelles, il faudrait se demander ce que sont devenues les terra rossa anciennes ?

Dès 1921, F. v. KERNER (97) considère la bauxite dalmate comme une terra rossa formée sous un climat semi-aride, sans trace d'humus, correspondant à la région des savanes actuelles.

F. KATZER (94) estime que la bauxite peut avoir trois origines différentes :

1. Elle serait un sédiment marin littoral ou néritique, représentant simplement un changement de faciès dans une série sédimentaire continue, sans période d'émersion. La bauxite proviendrait de dépôts de boues fines ayant la composition d'une argile siliceuse. Les irrégularités observées dans le mur (scheinbare Einpressung) seraient dues à des mouvements tectoniques agissant sur des couches de plasticité différente. KATZER ne se hasarde pas à expliquer la transformation des argiles en bauxite. Il indique comme gisement de ce type ceux des couches de Raibl (Trias) de Croatie, celui

de Domanovic en Herzégovine et un certain gisement, situé dans la vallée de la Dreznica au N de Mostar.

2. La bauxite reposant en discordance sur des terrains plus anciens serait d'origine continentale et proviendrait en partie des résidus de dissolution des calcaires et des dolomies, mais surtout des produits d'altération de diverses roches, modifiées et transportées sur l'emplacement des gisements actuels. Tel serait le cas des bauxites de Srebrenica dans l'E de la Bosnie (voir Planche I) qui reposent sur le Trias et sont recouvertes par des terrains néogènes.

Enfin KATZER considère comme bauxite certains cailloutis quaternaires à débris de bauxite d'origine fluvio-glaciaire, répandus en Bosnie occidentale, dans les districts de Kljuc, Petrovac et Krupa.

Dans sa seconde hypothèse KATZER admettait donc une origine continentale.

En 1922, ROTH DE TELEGD (182) discutant l'origine des bauxites de Gant (Hongrie) insiste sur la différence existant entre la terra rossa et la bauxite, qui constitue le point faible de la théorie de KISPATIC et TUCAN, et préfère revenir à l'hypothèse d'une origine latéritique, à partir des roches silicatées de l'ancien massif méridional hongrois dont il a été question dans l'esquisse stratigraphique. La faune et la flore de l'Eocène indiquent suffisamment le caractère tropical ou subtropical de la période précédente. Les latérites formées sur les silicates alumineux et sous un climat tropical auraient été transportées par le vent sur la région calcaire située plus au N. C'est, nous l'avons vu, l'ancienne idée de DIEULAFAIT et cependant, dans le seul fragment qui subsiste du vieux continent hongrois, dans le massif de Velence, on n'a jamais signalé la présence de latérite. L'hypothèse ainsi construite paraît donc assez fragile [1].

En 1928, I. POBOZSNY (175) est d'un avis opposé et se déclare partisan de la théorie de la terra rossa. Il fait donc dériver la bauxite de Gant des résidus argileux provenant de la dissolution de la dolomie principale.

En 1927, HARRASSOWITZ (32) proposait une nouvelle théorie; la «monohydrallite» [2] ou bauxite des calcaires, ne se

[1] Dans un entretien que j'ai eu l'honneur d'avoir il y a quelques années, avec le professeur K. ROTH DE TELEGD, il m'a fait savoir qu'il avait changé d'opinion et que la théorie de la terra rossa lui paraissait alors plus probable. Il n'a pas, que je sache, publié son nouveau point de vue.

[2] C'est par ce terme qu'HARRASSOWITZ désigne les bauxites des régions calcaires, par opposition à la «trihydrallite» ou latérite des régions tropicales.

formerait pas par une altération atmosphérique, mais sous l'effet du dynamo-métamorphisme en profondeur; on ne la trouverait qu'à l'état fossile. En 1929, il précisait sa pensée : les bauxites, selon lui, ne se trouveraient que dans les régions fortement plissées, liées à des discordances et probablement à des surfaces continentales. Dans les régions peu plissées, on ne trouverait pas d'allite (bauxite), mais de l'argile rouge (siallitische Roterde), comme dans le Jura suisse (sidérolithique). La monohydrallite serait ainsi une terra rossa écrasée. La désilicification doit se faire sous l'effet d'une pression unilatérale, à température élevée et en réaction alcaline. C'est pour cette raison qu'HARRASSOWITZ désigne aussi la bauxite sous le nom de «tectite».

L'auteur ne nous dit pas ce que devient la silice dans une telle hypothèse. D'autre part, si certaines bauxites de Dalmatie ou d'Herzégovine ont subi réellement des pressions élevées, sous l'effet de phénomènes tectoniques, les gisements d'Istrie ou du massif transdanubien ne portent aucun indice de ce «stress» ou pression tectonique dirigée. Certains dépôts de notre sidérolithique suisse ont certainement été soumis à des pressions bien plus élevées, sans cependant se transformer en bauxite. Pour HARRASSOWITZ, la teneur en alumine finit par devenir un critère de la pression tectonique !

F. BEHREND (8) en 1927, explique la genèse des bauxites des calcaires par la latéritisation des résidus insolubles. Il met en évidence le caractère basique des sols calcaires; mais il admet également que certains calcaires ont pu fournir un résidu latéritique dont la composition correspondait à celle de la bauxite.

DITTLER (146) passant en revue les différentes hypothèses proposées, concluait en 1930 que la question de la genèse des bauxites reposant sur les calcaires n'est pas encore résolue et nécessite de nouvelles études.

A cette époque, J. DE LAPPARENT exposait dans son « Mémoire sur les bauxites de la France méridionale » (45) des vues claires et nuancées sur l'origine de la bauxite :

« La bauxite, dit-il, est une formation d'origine continentale et qui s'est produite à partir « d'argile de décalcification » dont la masse s'est accrue de haut en bas. La bauxite s'est faite à mesure que la masse de ces « argiles de décalcification » s'accroissait, et, d'une manière générale, une bauxite basse dans son gîte est plus jeune qu'une bauxite plus haute ».

« Les bauxites hautes ont généralement évolué en milieu acide et ont acquis de ce fait un caractère siliceux. Les bauxites basses

ont généralement évolué en milieu alcalin : la silice de la matière primitive est plus ou moins complètement éliminée. »

Ailleurs, il écrit :

« Les latérites (et bauxites) actuelles des pays tropicaux rappellent à bien des points de vue les bauxites de la France méridionale que nous venons d'étudier, et il est légitime d'identifier la cause déterminante de la formation de nos bauxites à celle qui a motivé la formation des latérites actuelles. »

« Cette cause déterminante c'est le climat tropical, dont on peut dire que le caractérise l'alternance de saison sèche et de saison humide, sous une température élevée. »

« Cela posé, il est nécessaire d'indiquer qu'entre la matière génératrice des bauxites de la France méridionale et celle des latérites qu'on voit actuellement dans les pays tropicaux, il y a quelque différence. »

Pour J. de Lapparent, c'est donc la bauxite la plus profonde qui serait la plus récente. Si sur ce point en particulier, on peut encore diverger d'opinion, la conception dans son ensemble paraît bien correspondre aux faits observés.

D'autres théories ont encore été proposées depuis lors et peuvent s'appliquer peut-être à certains cas particuliers. Dans leur ensemble, elle n'ont pas apporté de faits nouveaux au problème général.

C. Fox (25) se fondant sur l'observation de quelques gisements renfermant de la bauxite pyriteuse grise, en Istrie, au Monténégro et à l'Untersberg, non loin de Salzburg (Bavière), propose une explication assez curieuse. Il admet que les résidus de la dissolution des roches carbonatées s'accumulent dans les golfes de la côte calcaire. Là, où ils n'ont pas été mêlés à d'autres sédiments et où la proportion des hydroxydes d'aluminium est celle d'une bauxite, ils donneront naissance à de la bauxite grise. Celle-ci après avoir subi une émersion s'enfoncera de plus en plus dans les cavités du calcaire et s'oxydera sous l'action des agents atmosphériques pour se transformer finalement en bauxite rouge. Dans certains cas, il subsistera à l'intérieur des gisements un amas pyriteux gris. Lorsque la bauxite a stationné longtemps il se produit une ségrégation d'hydrate d'alumine sous forme de gibbsite qui lui donne la composition d'une latérite.

G.-H. Behre (7) se demande si la bauxitisation a pu se poursuivre jusqu'à nos jours sous l'action de l'acide sulfurique ou des acides humiques.

E.-C. Harder (29) rappelle que la latéritisation ou la bauxitisation est caractérisée avant tout par l'émigration de

la silice et non par une dissolution puis reprécipitation de l'alumine, et que par conséquent l'action des acides est peu probable dans la latéritisation.

DITTLER et O. KUEHN (84) dans leur étude sur les bauxites du Sanntal, que nous avons déjà discutée plus haut (p. 43) concluent que ces bauxites dérivent des andésites préoligocènes qui se voient à leur contact. Si tel est le cas, bien que cela me paraisse peu probable, nous serions en présence de gisements différents de ceux qui font l'objet de notre travail. Il faudrait alors rapprocher les gisements du Sanntal des latérites d'Antrim (Islande), du Vogelsberg (Hesse) ou de celles de Reichenau (Bohême) récemment décrites par A. ORLOV (57).

A la suite des travaux de B.-W. PERFILJEF, sur les minerais pisolithiques des lacs de Carélie, certains auteurs russes tels que ROZKOVA E. V. et SOBOLEVA (6) ont cherché à reproduire expérimentalement de la bauxite pisolithique en mélangeant des solutions de sels de fer tels que Fe_2SO_4, $Fe_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $Fe(NO_3)_3$ avec des solutions de sels d'alumine : $Al_2(SO_4)_3$, $Al\,NH_4(SO_2)$, $Al\,Cl_3$ et de manganèse $MnCl_2$, $MnSO_4$, etc. Par addition d'ammoniaque, ils obtenaient en milieu acide des structures pisolithiques fragiles, comparables à celles des bauxites. Un excès d'alcali produit la destruction des pisolithes, il se forme alors un gel uniforme d'hydrate de fer et d'alumine. Ces auteurs en déduisent que les bauxites ont dû se former par sédimentation chimique, dans des lacs peu profonds. Les eaux de ces lacs devaient être légèrement alcalines, tandis que les eaux des torrents, chargées de solutions de sels d'Al et de Fe provenant des roches altérées voisines, devaient être acides.

Dans les travaux russes que j'ai eu l'occasion de consulter, la «bauxitisation» est généralement expliquée par ces phénomènes reproduits expérimentalement.

Récemment, G. TELEKI (130) considérant la faible teneur en matière insoluble des calcaires rejetait une fois de plus l'hypothèse des résidus de dissolution et proposait une théorie organogène de l'origine des bauxites. Des boues rouges provenant d'éruptions sous-marines auraient été partiellement désilicifiées par des organismes à test de silice (diatomées, éponges ou radiolaires ?). Ce matériel colloïdal aurait été amené dans des golfes abrités et floculé par les ions Cl^- de l'eau de mer.

Origine continentale.

Malgré des opinions si diverses, la plupart des géologues admettent aujourd'hui que la bauxite est une formation continentale. Nous en avons plusieurs indices, soit dans le mode de gisement, soit dans l'aspect de la structure du minerai.

L'irrégularité du mur des gisements étudiés me paraît être l'un des principaux critères d'une origine continentale de la bauxite. Cette irrégularité s'observe particulièrement bien le long des lignes d'affleurement des gisements dalmates ou encore dans la forme de certains gîtes exploités. Les cavités remplies par la bauxite représentent les dolines d'une ancienne surface karstique, non pas d'un karst jeune, pareil à celui qui longe le rivage adriatique actuel, mais du karst usé, parvenu au stade de plaine de dénudation, voisine de la mer et dont les dépressions sont comblées par les résidus insolubles du calcaires. C'est sur une telle surface qu'ont pu se déposer horizontalement les sédiments lacustres ou saumâtres qui constituent le toit des gisements.

Le toit de la bauxite est généralement constitué par des dépôts continentaux : sédiments lacustres ou saumâtres renfermant souvent des couches à charbon et qui marquent la fin de l'émersion.

Dans la plupart des cas, on peut montrer qu'entre le mur et le toit il existe une lacune dans la sédimentation. Cette lacune est plus ou moins étendue suivant les lieux. En Dalmatie, par exemple, elle se réduit pour l'horizon lutétien, à une période assez courte, tandis que dans le Bakony elle semble avoir duré, pour certains gisements, de la base du Jurassique au début de l'Eocène. Il n'existe généralement pas de discordance entre le toit et le mur. Les quelques cas signalés (Weinholz, 142) sont peu accentués et montrent que les mouvements tectoniques n'ont eu qu'une action faible pendant la phase d'émersion. Les émersions sont dues à des mouvements épirogéniques.

On ne connaît pour ainsi dire pas de fossile dans la bauxite. Les rares exemples, cités par C. Fox (25) tels que l'empreinte d'un gastéropode, découvert par O. Kuehn dans une bauxite du Monténégro (Danawe ?) et les restes de tiges de plantes et de gastéropodes signalés par T. Kormos dans un gisement d'Istrie (Verteneglio), sont des cas exceptionnels. Dans la bauxite du Monténégro, on serait en présence d'un gastéropode terrestre ou lacustre de la famille des Clausuli-

dés, dont il est difficile de dire s'il s'agit d'une espèce actuelle ayant pénétré dans la bauxite, ou d'une espèce ayant vécu à l'époque de la formation du gisement. Les fossiles pris dans un ciment bauxiteux, que l'on trouve au sommet de quelques gisements, appartiennent à un niveau supérieur à la bauxite, formé lors de la transgression lacustre ou marine, aux dépens de la bauxite elle-même.

L'absence de stratification et de matériaux clastiques tels que grains de quartz ou paillettes de mica, n'est pas habituelle dans un milieu liquide. Je ne connais que quelques cas de stratification, dans le gisement d'Alsopere (Hongrie) par exemple; mais elle se limite ici à une zone peu étendue et ne représente qu'une exception dans l'ensemble du gisement. La même structure, sans stratification, se retrouve dans les dépôts éluviaux de terra rossa. L'analogie s'étend même à la forme des dépôts et à leur relation avec le calcaire. La structure pisolithique des bauxites n'est pas comparable à celle des calcaires qui a dû se former en milieu marin ou lacustre. Elle semble résulter de la circulation de solutions dans un milieu gélique.

Enfin la couleur rouge brique caractéristique de la plupart des gisements est due à la forme anhydre sous laquelle se trouve le fer (hématite). Elle peut être aussi considérée comme un indice de l'origine continentale de la bauxite et implique des températures relativement élevées, supérieures à 20° d'après LANG (43).

Ces différentes constatations, particulièrement apparentes dans les gisements dinariques, m'ont conduit à ne rechercher la matière génératrice de la bauxite que dans les roches calcaires ambiantes. Pour se dégager du domaine de l'hypothèse dans lequel elle se meut, l'étude de la genèse de la bauxite des régions calcaires nécessite des recherches plus spéciales que la prospection des gisements proprement dits, à laquelle je me suis livré. Elle suppose connue l'analyse de nombreux calcaires, ainsi que l'examen approfondi d'un grand nombre de profils relevés dans les dépôts actuels d'argile de décalcification et de terra rossa. Il suffit d'examiner les travaux de ces dernières années, sur les terres rouges des régions calcaires, pour se rendre compte que les opinions sont ici aussi nombreuses qu'en ce qui concerne la bauxite.

C'est dans la province dinarique que nous trouvons les meilleures conditions pour étudier la genèse de la bauxite. C'est en effet ici qu'ont subsisté les plus grandes étendues calcaires d'Europe. D'autre part les gisements de cette pro-

vince n'ont eu semble-t-il que des périodes relativement courtes pour se former. Ils n'ont donc pas subi, comme dans la chaîne transdanubienne, les remaniements importants qui ont modifié leur position primitive et les font apparaître sous des aspects assez différents de ceux qu'ils avaient à l'origine. C'est donc avant tout en Istrie ou en Dalmatie qu'il faut étudier l'évolution des calcaires et l'allure des dépôts de terra rossa et des gisements de bauxite pour en comprendre l'origine.

Chapitre II : La terra rossa méditerranéenne.

Cette formation superficielle fréquente dans les régions méditerranéennes tire son nom des argiles rouges du karst. Elle présente, outre sa couleur rouge-ocre, plus ou moins brune, les caractéristiques d'une argile : hygroscopicité, grain très fin, plasticité en présence d'eau. Sa composition peut varier dans d'assez larges limites ainsi que le montre le tableau suivant :

Analyses de terra rossa (d'après E. Blanck 13).

N°		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MnO	P. F.	Alcalis	ki [1]
231	Javornik	35,21	30,26	13,20	0,72	1,50	19,15	—	1,98
232	Karst	60,44	20,46	6,41	0,69	1,21	7,37	—	5,00
233	Zlobin	26,20	39,14	14,03	—	--	18,14	—	0,67
234	Karlobag	35,42	32,89	15,03	0,43	—	15,32	—	1,83
235	Podgor (1400 m.)	52,95	9,89	5,73	1,52	1,41	24,80	3,34	9,10

Analyses faites au laboratoire de Neuhausen.

N°	Herzégovine	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P. F.	CaO	MnO	ki
236	Vranic	46,82	31,05	11,63	1,04	9,46	—	0,54	2,56
237	Vranic	40,76	35,85	10,37	0,90	12,12	—	0,60	1,93
238	Vranic	38,65	35,61	13,03	1,49	12,22	—	0,62	1,84
239	Batim	32,13	35,25	14,92	1,90	14,68	—	0,68	0,91
240	Nenadic	23,17	41,41	15,45	1,91	18,03	—	0,77	0,56
241	Nenadic	21,08	45,54	16,42	2,57	14,39	—	0,79	0,46

Cette composition qu'il est malaisé de caractériser, diffère sensiblement de la composition du résidu insoluble des calcaires en relation avec la terra rossa.

[1] ki est le rapport moléculaire de la silice à l'alumine.

Analyses du résidu insoluble dans HCl des calcaires du lac de Garde
(d'après BLANCK et GIESECKE 11)

N°	Types de calcaires	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO
242	Ammonitico rosso brunâtre	78,75	14,03	1,50	4,31	1,49
243	Ammonitico rosso blanchâtre	76,20	17,78	2,50	2,34	0,46
244	Biancone blanc	81,61	10,40	2,42	3,92	1,40
245	Biancone gris	90,20	7,40	tr.	1,60	1,35
246	Calcaire nummulitique	77,72	9,70	4,70	6,41	2,02

Ces premiers résultats montrent que la terra rossa ne correspond pas au résidu insoluble du calcaire. Ce résidu doit subir une modification chimique pour se transformer en terra rossa. Le phénomène consiste essentiellement en une élimination de la silice et un apport de Fe_2O_3.

Il n'est guère possible d'établir des limites nettes entre les diverses substances argilo-alumineuses, telles que le résidu insoluble des calcaires, la terra rossa et les bauxites. Toutes renferment en proportions variables les constituants suivants : SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, H_2O, ainsi que quelques impuretés telles que TiO_2, CaO, MgO, etc. en proportion assez faible. Si l'on considère les quelques analyses précédentes, on peut dire que le résidu insoluble des calcaires est caractérisé par une haute teneur en silice et une basse teneur en oxydes de fer et en alumine. Dans la terra rossa, la teneur en silice est voisine de celle de l'alumine et l'oxyde de fer s'élève jusqu'à 15 %. Lorsque la teneur en silice baisse et l'alumine croît, on passe aux argiles bauxitiques et finalement aux bauxites.

On peut essayer, comme l'a fait TOMKEIEFF (262), d'appliquer la méthode statistique pour classer ces roches. Mais le résultat dépend de l'exactitude des résultats confrontés, du nombre de cas envisagés, et du nombre de variables. Or si l'on possède sur les bauxites plusieurs milliers d'analyses, il n'en est pas de même des argiles de décalcification et des terra rossa. Pour fixer les idées nous considérons le rapport moléculaire de la silice à l'alumine, en faisant abstraction du fer et de l'eau de constitution. C'est le rapport qu'HARRASSOWITZ désigne par ki et TOMKEIEFF par s. Pour le calculer à partir des données de l'analyse, il suffit d'appliquer la formule suivante :

$$ki = \frac{\% \, SiO_2}{\% \, Al_2O_3} \, 1{,}7$$

Dans la molécule du kaolin, $2H_2O \, . \, Al_2O_3 \, . \, 2SiO_2$, nous avons

$$ki = 2 \, .$$

Pour les valeurs de ki inférieures à 2, il existe de l'alumine libre dans la substance. C'est au-dessous de cette limite que nous situons les terra rossa proprement dites, tout en remarquant qu'il peut exister des sols rouges dont le rapport ki est supérieur à 2. Pour ce qui concerne leur limite inférieure, nous la fixons arbitrairement pour une valeur de ki : 0,5, en insistant sur le fait qu'elle ne correspond pas à une solution de continuité, mais à une simple convention de notre part. Les bauxites sont ainsi limitées au domaine pour lequel ki est compris entre 0 et 0,5.

Nous obtenons ainsi la série arbitraire suivante :

Argiles de décalcification	$ki > 2$	
(Kaolin)	$ki = 2$	
Terra rossa	$0,5 < ki < 2$	$+ Fe_2O_3$
Bauxites	$ki < 0,5$	$+ Fe_2O_3$.

Le fait que l'on ne peut établir de limite entre ces différentes substances semble bien montrer que la terra rossa peut se transformer en bauxite et inversement. Il tend à s'établir un équilibre entre les différents constituants, équilibre qui dépend avant tout du climat, c'est-à-dire de la température et du degré d'humidité, ainsi que du pH du sol.

Dans une série de publications (10-16) et en particulier dans le « Handbuch der Bodenlehre » (13), E. Blanck a résumé les nombreuses hypothèses proposées, ainsi que les problèmes que soulève la terra rossa. C'est la théorie des résidus de dissolution, plus ou moins modifiés, qui semble avoir le plus d'adeptes, tant parmi les géologues que parmi les pédologues.

Il est difficile de dire si la terra rossa est un produit fossile, ou si elle se forme encore de nos jours. J'ai indiqué plus haut que son origine pouvait remonter au début de la dernière émersion de la zone dinarique calcaire. Blanck et Giesecke (11) ont montré que dans la région du lac de Garde, la terre rouge paraît avoir commencé à se former au Quaternaire et a poursuivi son évolution jusqu'à nos jours. Mais ces terres rouges diffèrent passablement, au point de vue chimique, des terra rossa que nous trouvons sur le Karst.

Depuis la propagation de la théorie climatique de la formation des sols, on admet que la terra rossa représente un sol caractéristique d'un certain climat méditerranéen. Si tel était le cas, la terra rossa constituerait sur les roches de toute nature, le sol typique des zones à climat méditerranéen. En fait

la terra rossa n'est développée dans la région méditerranéenne que sur les calcaires. A côté d'une influence climatique incontestable, il y a donc une influence de la roche sous-jacente, dont il faut tenir compte.

Le climat des régions où l'on rencontre la terra rossa ne permet pas la formation de dépôts d'humus. Il est caractérisé par une période sèche, succédant à une période humide, ainsi qu'on l'observe sur la côte adriatique : été sec et chaud, suivi d'un hiver doux et pluvieux. La maigre végétation qui apparaît au printemps est presque entièrement détruite par l'ardeur du soleil estival.

Sans être encore certain que la terra rossa se forme de nos jours, il est prématuré de vouloir lui imposer les conditions climatiques actuelles. Depuis longtemps déjà on a émis l'hypothèse qu'il fallait rechercher dans la zone tropicale le climat favorable à la formation des terres rouges. Ce n'est que depuis quelques années que l'on possède des renseignements sur les sols formés dans les régions calcaires tropicales. Selon P. Vageler (13), les calcaires donnent naissance sous les climats humides et chauds à des sols rouges. Cette tendance s'accentue dans les zones périodiquement humides. A. Lacroix (42) a noté l'intensité des phénomènes de corrosion s'exerçant sur les calcaires de Madagascar. Les argiles de décalcification qui en dérivent paraissent être rougeâtres ou jaunes et renferment de nombreux pisolithes. Il paraît légitime de conclure qu'il se produit aux dépens des argiles de décalification des phénomènes de latéritisation du même ordre que ceux réalisés aux dépens des roches cristallines.

Dans l'Archipel indonésien, E.-C.-J. Mohr (15) a observé qu'il se forme des terres rouges sur les calcaires purs ou quartzeux, lorsqu'ils sont suffisamment exposés à l'aération et à la sécheresse, des sols bruns dans les mêmes conditions, mais sous un climat sec, des sols truités à minerai pisolithique lorsque la nappe aquifère est élevée,, des sols noirs sur les calcaires marneux.

Bennett et Allison (15) ont étudié à Cuba un certain nombre de sols formés sur les calcaires sans faire d'hypothèse sur leur genèse. D'après ces auteurs, on trouve des terres rouges sur les régions plates, mais elles ne paraissent pas former d'horizon caractéristique. La partie supérieure renfermant de la matière organique, devient brune. En profondeur la plupart de ces sols renferment des pisolithes. Les analyses de ces terres rouges rappellent beaucoup celles de la terra

rossa méditerranéenne : elles sont riches en alumine et en fer et pauvres en silice. Et cependant il convient de rappeler qu'on n'a pas rencontré jusqu'à maintenant de bauxite actuelle sur les calcaires situés sous les tropiques.

Ainsi que le remarque E. BLANCK, l'argile rouge des régions calcaires ne se développe complètement que dans des conditions subtropicales.

La concentration du fer semble être un phénomène secondaire dont l'explication n'est pas entièrement élucidée. RAMMAN admet une dissolution du fer dans la couche superficielle faiblement humique et une précipitation dans la couche inférieure au voisinage du calcaire, dont la réaction est basique. La terra rossa représenterait l'horizon «illuvial» (zone de concrétion située au-dessus de la nappe aquifère) par opposition à l'horizon éluvial ou zone de lévigation.

Dans les régions humides, l'action protectrice de la substance humique sur les solutions d'Al et de Fe empêcherait la concentration du fer même au voisinage du calcaire. BLANCK pense qu'il faut faire intervenir en outre un apport de l'extérieur par «diffusion géologique» (LIESEGANG 54).

En résumé les facteurs essentiels à la formation de la terra rossa à partir de l'argile de décalcification semblent être :

la présence de calcaire en profondeur,

la présence d'une faible quantité d'humus en surface,

un climat favorable (qui détermine la quantité d'humus).

Transformation de la terra rossa.

La première phase de transformation consistait dans le passage d'une argile de décalcification quelconque à la terra rossa.

La seconde phase s'opère par la métamorphose de la terra rossa en bauxite.

J'ai dit, à propos des bauxites d'Istrie que l'on constate dans chaque gisement une transformation inverse : bauxite — terra rossa, c'est-à-dire le passage d'une substance alumineuse et ferrique à une matière essentiellement argileuse.

Dans la transformation terra rossa → bauxite, il se produit une élimination de silice et un enrichissement en Al_2O_3, Fe_2O_3 et TiO_2.

En recalculant les analyses de terra rossa N°s 236 à 241 indiquées ci-dessus, après en avoir soustrait la plus grande partie de la silice (nous n'avons gardé que les décimales), on obtient les résultats suivants :

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	P. F.
0,82	57,5	21,5	1,93	17,5
0,76	60,0	17,3	1,5	20,0
0,65	57,5	19,4	2,4	19,6
0,13	52,0	22,0	2,8	20,6
0,17	53,5	20,0	2,5	23,4
0,08	57,5	20,1	3,25	18,2

Ces analyses rappellent singulièrement celles des bauxites trihydratées, surtout en ce qui concerne le rapport de l'alumine à l'oxyde de fer. L'oxyde de titane est légèrement inférieur à celui que l'on trouve en moyenne dans la bauxite. Il va sans dire que le phénomène ne consiste pas dans une simple lévigation de la silice ; la forme sous laquelle celle-ci se sépare de la molécule de kaolin n'est pas encore connue. L'alumine résiduelle apparaît probablement sous forme de trihydrate. Dans la latéritisation des feldspaths, A. Lacroix (41) a observé de la gibbsite (trihydrate) à la place du minéral détruit.

Malgré les obscurités qui subsistent au sujet de la solubilité de la silice et de son mode de transport dans la nature, certaines expériences faites par Correns et ses collaborateurs (226, 231), ont permis de préciser les conditions de cette solubilité. Le dosage de la silice ne peut se faire que par gravimétrie.

La courbe obtenue mise en présence des courbes de solubilité du Fe^{+++} et de l'Al^{+++} est reproduite sur la figure 14 D'une façon générale, la valeur de saturation n'est pas atteinte dans les eaux naturelles. L'eau de mer profonde renferme 2 mg de SiO_2 par litre (Wattenberg). L'eau des rivières d'Amérique du Nord 2,8 - 9,8 mg de SiO_2 par litre (Moore, Maynard).

On doit trouver des concentrations supérieures dans les eaux d'altération provenant des régions sèches, ainsi que le prouve la formation de concrétions siliceuses.

Dans ces expérience, on constate que la silice est d'autant plus soluble que le milieu est plus basique, tandis que les ions Fe^{+++} et Al^{+++} sont insolubles en milieu basique. Ce sont précisément les conditions requises pour la formation des bauxites.

Au cours de la dissolution du calcaire par l'eau renfermant du CO^2, il s'établit l'équilibre suivant :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightleftarrows Ca(HCO_3)_2$$

Le bicarbonate formé, beaucoup plus soluble que le carbonate, est entraîné par la phase liquide. Celle-ci renferme en outre des traces de $CaCO_3$ dissous, qui se dissocie par hydrolyse en donnant :

$$CaCO_3 + H_2O \rightleftarrows Ca(OH)_2 + H_2CO_3$$

Ce dernier acide se décompose en CO_2 et H_2O, de sorte que la solution finale est basique et peut dissoudre la silice de la terra rossa. A cela s'ajoute l'influence d'un climat tel qu'il empêche la formation de trop d'humus [1].

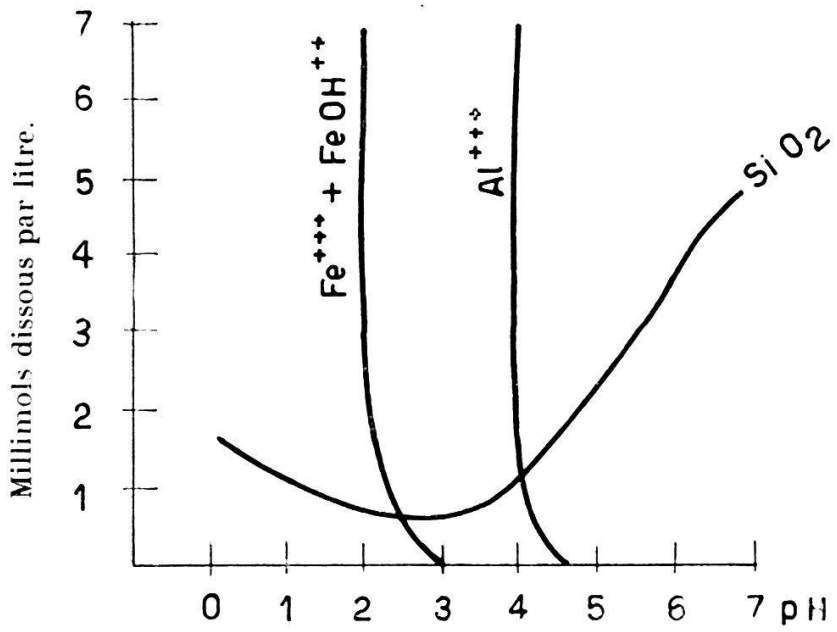

Fig. 14. — Solubilité de Fe, Al et Si en fonction du pH.

Il semblerait à première vue que les conditions favorables à la bauxitisation soient réalisées dans la zone méditerranéenne et cependant on n'y connaît pas de bauxites plus récentes que le Lutétien. La formation sous l'Equateur des latérites actuelles ou quaternaires fait intervenir des réactions quelque peu différentes : le milieu basique est réalisé dans ce cas, et du fait des hautes températures, par l'hydrolyse des silicates alcalins, en particulier des feldspaths.

C'est ici qu'Harrassowitz fait intervenir l'action du temps et de la pression (fossilisation et «anchimétamorphose»). Si l'on ne veut pas s'appuyer sur ces inconnues, il ne reste comme seule variable que le climat, dont l'action chimique complexe paraît plus probable que la pression ou que le temps

[1] Voir l'explication par P. Urbain (263, p. 35).

Les quelques données que je possède sur la terra rossa dinarique montrent de grandes variations dans la teneur en silice. En certains endroits, on observe un passage graduel de la terra rossa à la bauxite (plaine de Posuje, Herzégovine). Mais il s'agit, dans ce cas, de dépôts néogènes pouvant provenir du remaniement d'anciens gisements. Ailleurs, où la terra rossa n'a pas de relation avec les gisements de bauxite, la teneur en silice est plus élevée; la terra rossa est alors fréquemment recouverte par des argiles noires, riches en substance humique.

Le problème se complique encore du fait qu'à partir de l'Eocène supérieur, on voit apparaître sur les régions jusqu'alors calcaires de la zone dinarique, des formations marneuses ou argileuses, dont les produits d'altération se mêlant aux argiles rouges, ont pu en modifier l'évolution. Cependant dans la plupart des cas, l'analyse thermique montre qu'il existe de l'alumine libre sous forme de gibbsite. On peut donc affirmer que l'élimination de la silice a commencé à se produire dans la terra rossa. Il est probable que son évolution a été arrêtée par le refroidissement consécutif aux périodes glaciaires, dont on retrouve les vestiges dans les parties élevées du Karst. Au début de l'Eocène et à la fin du Lutétien, le climat du Karst dénudé où s'élaborait la bauxite paraît avoir été plus chaud que le climat actuel, à en juger par la flore des gisements de lignite qui ont recouvert les formations bauxitiques. Ce climat, caractérisé par l'alternance des saisons sèches et humides, était probablement analogue à celui des régions tropicales où s'élaborent les latérites actuelles. Ce n'est en effet que dans les régions chaudes que l'on constate aujourd'hui l'enrichissement en alumine des produits d'altération (latéritisation). Mais ce phénomène ne semble se produire que sur les roches cristallines. On ne l'a pas encore signalé sur les régions calcaires tropicales actuelles [1]. En revanche, on connaît en Europe, sur certains massifs basaltiques, des latérites contemporaines des dépôts de bauxite. Ce sont en particulier les latérites préturoniennes de Reichenau (Bohême) décrites par Orlov (57) renfermant 51 % d'alumine et 6,4 % de silice; celles de Saxe, du Crétacé inférieur, mentionnées par Harrassowitz (31) ne paraissent pas avoir dépassé le stade d'altération kaolinique. L'existence de ces la-

[1] Récemment, on a découvert des gisements de bauxite sur les calcaires de la Jamaïque et de Haïti. On en a signalé également sur des calcaires de l'Etat de Bahia (Barra de Mendes et Correntina) au Brésil (62); mais l'âge de ces dépôts n'a pas encore été précisé.

térites, formées à la même époque que les bauxites, mais légèrement plus au Nord, indique des conditions de formation probablement identiques et comme les latérites actuelles sont cantonnées dans les régions tropicales à climat alternativement sec et humide, nous sommes tentés d'admettre pour la formation de la bauxite le même type de climat. Mais, tandis que les latérites européennes continuent à se former sur les basaltes, jusqu'au Miocène (Vogelsberg), on ne connaît plus de bauxites à partir du Lutétien. Si donc le climat qui leur était favorable a persisté jusqu'au Miocène [1], d'autres conditions ont dû changer sur les régions calcaires pour expliquer l'arrêt de la formation des bauxites. Ce changement nous le voyons dans la sédimentation à partir de l'Eocène supérieur. De calcaire qu'ils étaient, les sédiments deviennent argilo-marneux ou argilo-gréseux, tant en Hongrie que dans la Province dinarique. Dès lors, l'élimination de la silice, encore possible dans les conditions climatiques du début du Néogène, est compensée par des apports argileux venus de l'extérieur; avec l'apparition de sédiments imperméables, l'érosion karstique qui est à l'origne de la genèse de la bauxite, a fait place à une érosion normale avec transports horizontaux. Nous ne retrouvons plus au Néogène que des dépôts de terra rossa, dans lesquels il est vrai nous avons constaté l'existence d'alumine libre sous forme de gibbsite, mais nulle part la silice n'a été éliminée aussi complètement que dans les bauxites crétacées ou éocènes. Il semble donc que la genèse de bauxites récentes se soit amorcée dans les régions karstiques, mais qu'elle n'ait pas pu se poursuivre. Au Pliocène, le climat se refroidit sensiblement en Europe, et c'est à ce moment que disparaît la principale des conditions qui avait permis jusqu'alors la latéritisation d'un certain nombre de roches alumineuses en Europe.

Nous avons supposé que le processus au cours duquel la terra rossa se transforme en bauxite est analogue à la latéritisation. Or on possède aujourd'hui des renseignements assez précis sur les conditions nécessaires à la formation d'une latérite actuelle. C. Fox (25) a résumé ces conditions comme suit :

1. L'existence d'un climat tropical ou sub-tropical, sujet à des alternances de saisons sèches et humides (régime des moussons).

[1] On sait que le climat a dû se refroidir dans l'Europe moyenne entre l'Eocène et le Miocène. La molasse aquitanienne de Lausanne est beaucoup plus riche en palmiers que la molasse tortonienne d'Oeningen, ainsi qu'Oswald Heer l'avait déjà montré (Le monde primitif de la Suisse).

2. Une surface topographique faiblement inclinée et qui ne soit pas soumise à une érosion appréciable.

3. Des affleurements de roche de composition chimique convenable (c'est-à-dire renfermant de l'alumine et de l'oxyde de fer en quantité suffisante), et dont la structure soit poreuse pour permettre aux eaux atmosphériques de les traverser.

4. La possibilité aux eaux d'infiltration de rester pendant une longue période chaque année en contact avec la roche en voie de transformation.

Dans les régions perméables du Karst, de telles conditions ne sont réalisées que dans certains bassins particuliers : les poljés, dont le niveau est situé entre les limites de variation annuelle du niveau hydrostatique. Ces poljés sont inondés pendant toute la période durant laquelle leur écoulement est inférieur aux venues d'eau des sources vauclusiennes qui les alimentent. Le reste du temps ils sont à sec.

La surface du poljé est généralement irrégulière comme toute surface calcaire, et ne devient plane que lorsque le poljé est partiellement rempli de matériel éluvial.

Tant qu'il n'existe pas de roches imperméables dans le voisinage immédiat, le poljé ne se remplit que d'argile de décalcification ou de terra rossa provenant des régions calcaires voisines. Ce dépôt se fendille par dessiccation au point de devenir partiellement perméable à l'eau.

Les eaux qui alimentent le poljé ayant traversé des calcaires sont devenues légèrement alcalines.

Il suffit alors de faire intervenir un climat assez chaud pour voir réalisées les conditions que nous avons énumérées ci-dessus.

La seule objection que l'on puisse faire réside dans le fait que l'on ne retrouve pas dans le gisement de bauxite le profil latéritique typique, avec sa zone de départ et sa zone de concrétion. La transformation en bauxite s'opère sur des épaisseurs variables, et jusqu'au voisinage du calcaire du mur.

On peut se demander ce que devient la silice éliminée des amas de terra rossa. Les rares concentrations de silice que l'on connaisse à proximité des gisements de bauxite ne semblent pas avoir de relation avec ces derniers. Ce sont par exemple les amas de sable de quartz connus en Istrie sous le nom de saldame. Ils forment des amas irréguliers liés aux calcaires cénomaniens, ainsi qu'a pu le montrer d'Ambrosi (57). D'autre part on a signalé dans la dolomie triasique des environs de Budapest des nodules de calcédoine (cherts) ; mais la silice de ces nodules provient de divers organismes dont

on retrouve les traces au microscope (Radiolaires, spicules d'éponges). Il paraît plus probable que la silice reste en solution et finit par être transportée jusqu'à la mer, à travers les crevasses du calcaire, sans parvenir à précipiter.

Si l'aboutissement de l'altération atmosphérique des roches les plus diverses, semble être, dans certaines conditions climatiques définies, un gel alumino-ferrique, de composition chimique déterminée, il n'en reste pas moins que cette évolution suit des voies différentes selon qu'elle s'opère sur une surface perméable (roche carbonatée) ou sur un soubassement imperméable (roche éruptive).

La terra rossa des régions calcaires subit un transport très lent qui finit par l'acheminer dans les dépressions de la surface karstique. Ce déplacement lent de l'éluvion s'opère dans un milieu légèrement alcalin, qui favorise l'élimination de la silice. Il n'est pas encore démontré si cette élimination se produit pendant le transport déjà, ou si elle ne s'opère que dans le bassin d'accumulation. Néanmoins cette évolution diffère sensiblement de l'altération «in situ» des roches éruptives qui donnent naissance à la latérite primaire. C'est cette différence de formation qui nous engage à maintenir une distinction entre deux types de bauxites voisines au point de vue chimique : la *bauxite latéritique* et la *bauxite de terra rossa*. Pour la commodité du langage on peut les réunir sous le terme d'*allite* créé par HARRASSOWITZ.

La bauxite [1] nous apparaît ainsi comme un faciès caractéristique des régions calcaires. Elle est l'indice d'un épisode continental et suppose le développement d'un cycle karstique complet. La forme des gisements variera selon l'ampleur du soulèvement et le degré d'évolution de la surface karstique. Si la période d'émersion se prolonge, les gisements primaires subiront des remaniements qui peuvent finir par leur donner l'aspect d'une couche.

CHAPITRE III : LES CALCAIRES DU MUR.

Le soubassement de toutes les bauxites examinées est constitué par du calcaire ou de la dolomie. Cette roche perméable [2] est toujours altérée au contact de la bauxite sur une épaisseur variant de 5 à 50 cm. Le calcaire altéré se présente sous forme d'une matière crayeuse, qui se réduit entre les doigts en une

[1] Bauxite proprement dite.

[2] Les massifs calcaires ou dolomitiques ne sont perméables que par les fissures qui les sillonnent; ils sont dits perméables en grand.

poudre dont la grosseur du grain peut varier de la farine au sable fin. La composition du calcaire altéré a légèrement changé par rapport à celle de la roche primitive.

Analyse d'un calcaire du Malm.
Mur de la bauxite du Bihar (Roumanie).

N°		SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	P. F.
247	Echant. sain	tr.	0,11	0,08	55,96	0,09	43,81
248	Echant. altéré	0,60	0,19	0,19	55,23	0,11	43,56

On constate un enrichissement de l'insoluble et des sesquioxydes et une légère baisse de la chaux. Il n'est cependant pas possible de tirer des conclusions de ce seul exemple. Ce n'est que sur un grand nombre d'analyses des différentes roches qui ont pu contribuer à former l'argile de décalcification, que l'on pourra préciser le processus de la genèse de la terra rossa et de la bauxite. Tucan (131) a publié de nombreuses analyses de roches carbonatées de Croatie, dans lesquelles le total de l'insoluble et des sesquioxydes dépasse rarement 0,50 %, ce qui montre la grande pureté des calcaires et des dolomies du Karst.

Dans le massif central hongrois, j'ai indiqué que la bauxite pouvait avoir pour roche mère les calcaires jurassiques ou le Crétacé inférieur, dont il ne subsiste que quelques îlots; la partie supérieure du Trias : le calcaire du Dachstein ou la dolomie principale n'ont dû contribuer que pour une faible part à l'élaboration de ces gros dépôts éluviaux.

Je ne possède malheureusement pas d'analyses des calcaires jurassiques. A. Földvari (151) donne la teneur en insoluble, Fe_2O_3 et MnO_2 de quelques-uns de ces calcaires.

Je les indique à titre de comparaison :

	Insol.	Fe_2O_3 %	MnO_2 %
Calc. de Dachstein d'Eplény	—	0 05	0 016
Calc. rouge : Lias inf. (Urkut)	0,67	0,18	0.015
Calc. rouge clair : Lias inf. (Urkut)	0,83	0.34	0.03
Calc. rouge violet : Lias (Urkut)	0,36	0,20	0,008
Calc. rge à Céphalop. Lias moy. (Urk.)	1.22	0,37	0,04
» » Lias sup. (Kardosrét)	1,40	0,35	0.02
» » Dogger (Zirc)	1,32	0,28	0.07
» » Tithonique (Borzavar)	8,34	0,69	0.06

Si l'on admet que la teneur en alumine est égale à celle en Fe_2O_3 (elle est généralement supérieure à 1 %), on constate que ces calcaires fortement colorés en rouge sont moins

purs que ceux du Karst dinarique. Un calcul sommaire montre, en supposant pour les calcaires de la Province dinarique une teneur en résidu insoluble de 0,5 % et pour ceux du massif central hongrois une teneur de 1 %, qu'on obtient les chiffres suivants :

	Résidu insoluble	
	P. dinarique	Massif hongrois
1 m³ de calcaire (2700 kg.) donne :	13,5 kg.	27 kg.
1 km², sur 1 m. de puissance, donne :	13 500 tonnes	27 000 tonnes

Sous cette forme, ces chiffres paraissent plus vraisemblables que sous la forme indiquée par Weigelin (141) qui suppose que pour obtenir une couche de 0,8 m. de bauxite, il faut dissoudre une épaisseur de 150 m. de calcaire. On sait que la bauxite ne forme jamais une couche continue; dans la Province dinarique, elle n'apparaît en masses d'une certaine épaisseur que dans des zones restreintes. Dans le Massif transdanubien, il est vrai, elle forme avec la terra rossa des gisements de grandes étendues. Ce type de gisement-couche serait dû à une teneur plus élevée en matières insolubles des calcaires et une durée plus longue de la période d'émersion pendant laquelle il s'est formé.

On a vu que J. de Lapparent (45) considère l'argile de décalcification et par suite la bauxite, comme formées de haut en bas, c'est-à-dire « in situ ». Dans une telle hypothèse il faut envisager des épaisseurs considérables de calcaires dissous pour obtenir une faible épaisseur de bauxite. Pour ma part, la terra rossa, tout en conservant les caractères d'un dépôt éluvial, se déplace lentement sur la surface calcaire et finit par s'accumuler dans les fonds de dolines occupant les régions basses de la plaine d'abrasion; ce n'est qu'ainsi que j'explique la concentration en amas de plusieurs milliers de tonnes d'un résidu dont la proportion est si faible dans le calcaire.

Chapitre IV : Evolution de la bauxite (Diagénèse et métamorphisme).

Une fois formé, le gel alumino-ferrique qui résulte par hypothèse de l'élimination de la silice d'une terra rossa, poursuit son évolution pour se transformer en bauxite que nous observons aujourd'hui. Cette évolution s'opère dans un milieu imprégné d'eau, sans qu'il se produise de déplacement important des éléments constituants. Ceux-ci ne font que se

grouper selon leurs affinités déterminant ainsi la structure de la roche. C'est à cette phase de la diagénèse que se forme la structure pisolithique ou perlitique et que commencent à cristalliser les hydrates d'alumine. On peut imaginer deux cas d'évolution : soit que la substance en voie d'élaboration reste émergée; il s'établit alors un équilibre qui dépend du climat local; soit que les dépôts alumineux soient envahis par les eaux et ensevelis sous des sédiments lacustres ou marins. Dans le premier cas, il semble que la phase stable de l'hydrate d'alumine soit réalisée dans la gibbsite; c'est en effet elle qui se forme dans les latérites actuelles. Dans les gisements ensevelis peu après leur formation sous des sédiments, ce serait plutôt la boehmite qui se formerait. Les plus beaux cristaux de boehmite découverts par J. DE LAPPARENT se trouvaient sous des formations charbonneuses, à Pereille (Ariège) et dans l'Ayrshire (Ecosse); aussi cet auteur estime-t-il que ce sont les eaux humiques qui sont responsables de la cristallisation de la boehmite. Quant au diaspore il semble ne se former que dans les régions de l'écorce terrestre où la température est supérieure à la température critique de l'eau (370° C).

Se fondant sur les conditions de gisement de ces divers types de bauxite, J. DE LAPPARENT (46) admet qu'ils se sont formés à différents niveaux de l'écorce terrestre :

les bauxites à gibbsite se forment au-dessus des eaux;
les bauxites à boehmite, au niveau des eaux;
les bauxites à diaspore, au-dessous du niveau des eaux.

Quoiqu'il existe des passages lithologiques entre les trois bauxites, ces passages ne résulteraient pas de transformations minéralogiques d'une type à l'autre. Il y aurait ainsi une relation entre la cristallisation de la bauxite et le phénomène de subsidence.

Nous avons vu que dans la province dinarique les trois types de bauxite correspondent à trois périodes différentes (p. 116). Dans le Massif transdanubien les relations entre ces divers types sont plus complexes. La bauxite de Nésza, à diaspore, occupe une position analogue aux bauxites à boehmite de Nyirad ou aux bauxites à gibbsite d'Halimba; en outre elle ne présente aucune des marques d'écrasement que l'on observe sur les bauxites à diaspore de Grèce ou du Bihar. On retrouve la même formation charbonneuse au-dessus des bauxites à boehmite que des bauxites à gibbsite. La seule influence qu'elle semble avoir exercée semble être la formation de concrétions d'alunite ou de cristaux de pyrite et de

bauxite bleuâtre. Enfin, les bauxites à bœhmite et les bauxites à gibbsite, étroitement liées, apparaissent aussi bien dans les gisements voisins de la surface qu'à plus de 300 m. de profondeur sous le bassin à charbon de Tatabanya.

Ces conditions de gisement ne laissent pas apparaître si clairement une relation avec chacun des types de bauxite.

HUETTIG et WITTGENSTEIN (241) ont montré qu'il est possible de transformer expérimentalement la gibbsite en bœhmite (après 24 h. à 370° C, sous 20 atm.). D'autre part, un gel d'hydrate d'alumine obtenu par l'addition d'ammoniaque dans une solution de chlorure d'alumine, se transforme par vieillissement (3 mois) en boehmite. En revanche la transformation de la boehmite en diaspore n'est pas réalisable au laboratoire, ce qui ne signifie pas nécessairement que cette transformation ne soit pas possible dans la nature [1].

Il nous semble pour l'instant que la gibbsite représente la forme initiale sous laquelle cristallise l'hydrate d'alumine, dans les produits d'altération superficielle. Sous l'effet d'une pression relativement faible [2] et à condition que l'eau d'hydratation trouve moyen de s'échapper, la gibbsite se transformerait en boehmite, sans l'intervention de solutions humiques. L'origine du diaspore est plus difficile à expliquer. Il paraît résulter d'une influence thermique sensible et d'une pression plus élevée; il représenterait ainsi un degré de métamorphisme plus avancé qui aboutit finalement, lorsque la température est suffisamment élevée, aux émeris de l'Archipel grec, si bien décrits dans une série de publications par J. DE LAPPARENT (47, 49).

[1] La synthèse du diaspore aurait été réalisée à partir de la bœhmite, à 400° C, sous pression dans un milieu aqueux et en présence de cristaux de diaspore d'ensemencement (LAUBENGAYER, A.-W. and WEISZ, R.-S., *J. Am. Chem. Soc.* 65, 247, 1943).

[2] due au poids des sédiments qui recouvrent le gisement.