

ÉVOLUTION MINÉRALOGIQUE DE QUELQUES SABLES TITANIFÈRES D'AFRIQUE DU SUD (*)

par FRANÇOIS DIMANCHE (**)

(3 planches hors-texte)

RÉSUMÉ

L'auteur a pu examiner une série de sables titanifères sud-africains se trouvant à différents stades de leur évolution minéralogique.

Les structures à ilménite-leucoxène-rutile, ilménite-goethite-anatase et magnétite martite sont décrites et illustrées.

Certaines données originales concernent les pouvoirs réflecteurs.

ABSTRACT

The author has studied a series of South African titaniferous sands in various stages of their mineralogical evolution.

Associations of ilmenite — leucoxene — rutile, ilmenite — goethite — anatase, and magnetite — martite are described and illustrated. New information is given regarding their reflective properties.

INTRODUCTION

L'Afrique du Sud compte un certain nombre de dépôts de sables noirs riches en minéraux denses tels que le zircon, la monazite, l'ilménite et le rutile.

La côte est présente entre la ville d'East London et la frontière sud du Mozambique de nombreux sites qui sont ou qui furent favorables à l'installation et à la persistance des accumulations éoliennes.

On connaît d'autre part au sud-ouest de Johannesburg, de beaux exemples de dunes fossilisées.

(Department of Mines, 1959; S. H. Behr, 1965; Industrial Minerals, 1971)

Quelques critères géologiques simples permettent de se faire une idée sur l'état de plus ou moins grande fraîcheur des sables que l'on étudie. Il est intéressant de constater que le vieillissement progressif des dépôts correspond à toute une évolution minéralogique.

Ces transformations affectent particulièrement les minéraux riches en titane, ilménites et magnétites titanifères.

Trois formes d'évolution seront décrites : la première correspond au matériau frais, meuble, pauvre en minéraux d'altération et dépourvu de minéraux authigènes.

La seconde forme est celle du sable meuble, dépourvu de minéraux authigènes mais riche en minéraux secondaires.

(*) Communication présentée le 9 novembre 1971. Manuscrit déposé à la même date.

(**) Université de Liège, Laboratoires de Géologie, 45 avenue des Tilleuls, B-4000 Liège.

La troisième forme correspond à un matériau cimenté où la plupart des minéraux titanifères sont épigénisés et où l'on note la présence d'une cristallisation authigène.

EXAMEN MINÉRALOGIQUE
SUR LA FRACTION LOURDE D'UN SABLE NOIR FRAIS

Association minéralogique.

Le traitement du sable noir aux liqueurs denses permet d'obtenir une fraction lourde présentant les minéraux suivants :

minéraux opaques : magnétite, ilménite, hématite ;

minéraux transparents : zircon, monazite, tourmaline, grenat, pyroxène, amphibole, épidote, rutile.

Examen des minéraux ferro-titanés.

En utilisant l'aimant et le séparateur magnétique, on peut obtenir aisément un concentré d'ilménites, magnétites titanifères et hématites (J. C. Duchesne, 1966).

On note que, même dans les sables les plus frais, certains grains d'ilménite homogène (*) portent des entailles qui, allongées suivant la direction du clivage basal, semblent correspondre à des zones de dissolution.

Par ailleurs, on relève sur quelques individus, l'apparition d'efflorescences noires (photographie 1). Il s'agit du plus précoce des produits d'altération de l'ilménite (**); ce matériau est amorphe (« patchy ilmenite » distinguée par S. W. Bailey et al., 1956) et résulterait de la désagrégation du réseau cristallin de l'ilménite.

Les grains de magnétite montrent de leur côté une tendance à l'oxydation. Leurs pourtours se chargent de nombreuses lamelles d'hématite-martite, orientées suivant les plans octaédriques des cristaux de magnétite (photographie 2).

EXAMEN DES MINÉRAUX FERRO-TITANÉS D'UN SABLE ALTÉRÉ

Évolution minéralogique des ilmenites.

De nombreux grains d'ilmenite présentent des traces d'altération. Outre les efflorescences noires déjà observées sur les sables dits frais, de nouvelles formes d'altération viennent affecter tout ou partie des grains d'ilmenite.

La deuxième forme d'évolution se concrétise par l'extension de taches plus claires que l'ilménite. Ce deuxième produit d'altération se montre lui-aussi amorphe (photographie 3 et 4); son spectre X ne montre pas d'autres raies que celles de l'ilménite mais ces raies sont considérablement atténuées. Ce matériau est similaire aux « amorphous iron-titanium oxides » distingués par S. W. Bailey et al. (1956).

La troisième forme d'évolution correspond à un développement de nouvelles taches plus réfléchissantes que l'ilménite.

(*) On trouvera dans les notes de J. C. DUCHESNE (1970) tous les détails souhaités concernant les structures d'exsolution de l'ilménite.

(**) Le terme mal défini « leucoxène » correspond pour les uns à un minéral d'épigénie de l'ilménite : arizonite, sphène, brookite, rutile; pour les autres, il s'agit d'un terme générique désignant l'ensemble des produits d'altération de l'ilménite.

Le terme leucoxène est ici utilisé dans son sens générique, quand il voudra spécifier, l'auteur parlera de leucoxène amorphe, de leucoxène cristallin et de leucoxène-rutile.

Ce troisième produit d'altération est de nature cristalline (photographies 5 et 6). Son spectre X est caractérisé par l'amenuisement extrême des raies de l'ilménite au profit de quelques raies principales du rutile et de la goethite.

On peut distinguer une quatrième forme d'évolution des ilménites qui correspondrait à l'épigénie totale de l'ilménite par le leucoxène.

Ce leucoxène présente tout l'aspect du rutile, y compris les macles et les réflexions internes. Son spectre X est caractérisé par le développement des raies du rutile aux dépens de celles de la goethite.

Seules, les formes du grain et quelques caractères morphologiques reliques de l'ilménite permettent de distinguer les ilménites rutilisées du rutile détritique (photographies 7 et 8).

Évolution minéralogique des magnétites.

La tendance à l'épigénie de la magnétite par les lamelles d'hématite-martite s'accroît clairement.

On relève de nombreuses structures de remplacement sur lesquelles se reconnaissent les directions des clivages d'une magnétite disparue (photographie 9).

Quelques grains de magnétite titanifère donnent lieu à un développement limité de leucoxène (photographie 2).

Évolution minéralogique des hématites.

Ainsi que le montrent les structures d'altération des hémio-ilménites et ilménohématites (photographie 10), il est clair que les exsolutions d'hématite se montrent beaucoup plus résistantes à l'altération que l'ilménite.

Cette persistance de l'hématite est prévisible puisqu'à ce stade d'évolution, les grains de magnétite se trouvent martitisés et non pas transformés en goethite.

EXAMEN D'UN SABLE NOIR CIMENTÉ

Association minéralogique.

La fossilisation du sable noir étudié a donné lieu à une roche consolidée bien que très poreuse.

Les grains du sable primitif, déformés par impressionnement mutuel (photographie 11), sont cimentés par de la goethite et des chlorites ferrifères.

L'analyse modale granulaire sur lame mince polie a donné les résultats suivants :

| | |
|---------------------------------|-------|
| ilménite homogène altérée | 67 % |
| anatase | 10 % |
| minéraux transparents | 9 % |
| quartz | |
| zircon | |
| monazite | |
| grenat | |
| tourmaline | |
| chlorite | |
| ilménite à exsolutions, altérée | 6 % |
| goethite | 2 % |
| rutile | 2 % |
| ilménite homogène « fraîche » | 2 % |
| total | 100 % |

Évolution minéralogique des ilménites.

Les grains du sable primitif ont subi — en dehors des efforts mécaniques — les effets d'une altération qui a conduit à la mobilisation du fer et du titane de l'ilménite.

Le fer donne lieu à une précipitation intergranulaire de goethite et chlorite (photographies 3 et 4).

A l'intérieur des grains résiduels, le fer recristallise sous la forme de goethite, le titane, sous la forme d'anatase (photographie 11).

En dehors des minéraux authigènes, les grains d'ilménite altérés montrent toutes les formes d'altération à leucoxène identifiées précédemment. Il est très probable que la minéralisation authigène à goethite-anatase s'est greffée sur la minéralisation secondaire à leucoxène-rutile.

Évolution minéralogique des magnétites.

Beaucoup de grains de magnétite sont quasi-totalement remplacés par un mélange de goethite et d'ocres colloïdaux.

On retrouve au centre de quelques individus mieux conservés les lamelles de martite montrant elles-aussi une tendance à s'altérer en goethite.

Évolution minéralogique des hématites.

Les structures d'altération des hémio-ilménites montrent qu'à ce stade d'évolution des sables, l'hématite se montre plus altérable que l'ilménite (photographies 11 et 12).

Souvent, le pourtour des grains se transforme en anatase et goethite alors qu'au centre, l'alignement des cratères de dissolution signale la disparition des lamelles d'exsolution.

LE POUVOIR RÉFLECTEUR DE L'ILMÉNITE
ET DE SES PRODUITS DE TRANSFORMATION

Les mesures qui suivent ont été effectuées dans l'air à l'aide du microscope-photomètre Leitz MPV.

La longueur d'onde choisie mesure 592 Å.

Les pouvoirs réflecteurs sont, quand il y a lieu, mesurés suivant l'axe de réflexion maximale des lames cristallines examinées.

Les mesures de référence sur ilménites-fraîches-analysées ont été obtenues sur des échantillons en-roche de Norvège, dépourvus de Magnesium et titrant 1.8 à 8.5 % de Fe_2O_3 : R_0 y reste compris entre 18.5 et 20.5

(J. C. Duchesne et F. Dimanche; en préparation).

En ce qui concerne les sables noirs, les pouvoirs réflecteurs des ilménites homogènes considérées comme fraîches se sont cantonnés entre 17. et 18.5.

Les ilménites « fraîches » des sables pourraient en réalité avoir subi un stade préliminaire d'altération s'accompagnant d'une baisse de réflectivité. Ce point-de-vue est à rapprocher de celui qu'exprimaient H. de la Roche et al. (1962) :

« Il ne fait pas de doute que les 'ilménites' des gisements remaniés soient » toutes plus ou moins altérées, même lorsque leurs caractères optiques n'ont » subi aucune modification radicale ».

Le pouvoir réflecteur du leucoxène amorphe varie de 18.5 à 19.

Le pouvoir réflecteur du leucoxène cristallin varie de 19 à 20.5; la réflectivité des grains de leucoxène-rutile peut atteindre 22.5.

La réflectivité de l'anatase est de l'ordre de 23.0; pour cette dernière donnée, les mesures peuvent être considérées comme incertaines en raison de l'intensité des réflexions internes des minéraux examinés.

CONCLUSION : QUALITÉ DES ILMÉNITES ET ÉVALUATION DES GISEMENTS

En 1970, la demande mondiale de minerais à haute teneur en titane a largement dépassé les capacités productives (R. M. Grogan 1971). Ces minerais à haute teneur en titane sont avant tout destinés à l'industrie du pigment, laquelle souhaite des minerais titrant plus de 56 % en TiO_2 (J. W. Stamper, 1970).

Or l'ilménite, le seul minéral titanifère abondant, titre quand elle est minéralogiquement pure (crichtonite) 52.7 TiO_2 %.

A défaut de rutile, l'industrie du pigment exploite en grand les dépôts de sable noir riches en grains d'ilménite très évoluée.

L'évolution de ces ilménites détritiques consiste essentiellement en un lessivage du fer. L'enrichissement relatif en titane peut conduire les minerais à des teneurs supérieures à 65 % TiO_2 .

L'intérêt économique d'un sable noir réside donc, en grande partie, dans l'état d'altération de ses grains constitutifs d'ilménite et cet état d'altération ne peut être mieux étudié qu'à l'occasion des études minéralogiques sur minerai brut et sur concentrés.

Suivant que les surfaces polies montrent le développement de tel leucoxène plutôt que de tel autre, si les analyses modales indiquent que 25 % des grains sont altérés dans tel sable alors que tel autre renferme 85 % de grains leucoxénisés, on ne s'étonnera pas de voir les teneurs en TiO_2 des concentrés commerciaux varier de 44 % (ilménites fraîches de Norvège) à 56 % (ilménites leucoxénisées d'Australie) (Industrial Minerals, 1971).

Sur la base des seules analyses minéralographiques, tel sable riche en minéraux lourds pourra faire l'objet d'une évaluation.

Elle reposera qualitativement sur l'identification des minéraux rencontrés, l'étude de leurs structures et l'examen détaillé des formes d'altération de l'ilménite.

Du point de vue quantitatif, l'évaluation pourra faire appel aux résultats rapides et peu coûteux des analyses modales.

En guise de conclusion, on mettra l'accent sur la valeur des informations que le minéralogiste est susceptible de fournir dans bien des cas au prospecteur, au mineur puis à l'ingénieur chargé de l'enrichissement.

REMERCIEMENTS

L'auteur exprime ses remerciements à monsieur R. Vandenvinne. Son art du polissage s'est révélé essentiel en cours d'étude et pour la photographie des structures les plus délicates.

RÉFÉRENCES

- BAILEY, S. W., CAMERON, E. N., SPEDDEN, H. R., WEEGE, R. J., 1956. — The alteration of Ilmenite in beach sands. *Ec. Geol.*, **51**, 3, 263-280.
- BEHR, S. H., 1965. — Heavy-mineral beach deposits in the Karroo system. *Rep. of South Africa, Dep. of Mines, Geol. Survey*, Mem. **56**.
- Department of Mines, The mineral resources of the Union of South Africa. *Rep. of South Africa, Geol. Survey* (1959).
- DUCHESNE, J. C., 1966. — Séparation rapide des minéraux des roches. *Ann. Soc. Geol. Belgique*, **89**, 8, 347-356.
- DUCHESNE, J. C., 1970. — Microtextures of Fe-Ti Oxide Minerals in the South-Rogaland anorthositic complex (Norway). *Ann. Soc. Géol. Belgique*, **93**, 3, 527-544.
- DUCHESNE, J. C. et DIMANCHE, F. — Variation du pouvoir réflecteur des ilménites non magnésiennes en fonction de leurs teneurs en Fe_2O_3 . (en préparation).
- GROGAN, R. M., 1971. — Titanium. *Min. Engineering*, **23**, 1, 66-67.
- Industrial Minerals; Titanium minerals. *Ind. Minerals*, **43**, 9-23 (1971).
- LA ROCHE, H. DE, KERN, R., BOLFA, J., 1962. — Contribution à l'étude de l'altération des ilménites. *Sci. de la Terre*, **8**, 3-4, 215-248.
- STAMPER, J. W., 1970. — Titanium. In « Mineral Facts and Problems », *U. S. Bureau of Mines Ed., Bull.*, **650**, 773-794.

DISCUSSION

M. CALEMBERT : La description des phénomènes est très complète et fort intéressante. Avez-vous recherché les causes des processus d'altération dont vous avez reconnu les diverses étapes ?

Réponse : Les ilménites sont des minéraux très sensibles à l'action des agents météoriques. Il suffit pour s'en persuader de suivre le vieillissement rapide des affleurements de minerai. On peut donc penser que la désagrégation dite mécanique des roches à ilménite s'accompagne déjà d'une altération des ilménites constitutives.

Le transport des grains en phase aqueuse contribue lui-aussi à la dégradation chimique de l'ilménite si bien que ce sont des minéraux « piqués » de leucoxène qui se rassembleront pour édifier les dunes de sable noir.

A l'intérieur de ces dunes, largement soumises à la percolation des eaux météoriques les grains d'ilménite poursuivent leur évolution minéralogique vers le leucoxène-rutile.

Enfin, les dunes en cours de vieillissement peuvent être soumises à des conditions écologiques particulières : chaleur, pluies abondantes, protection d'un couvert végétal..., les sables peuvent alors connaître une évolution diagénétique liée à la mobilisation suivie de recristallisation du fer et du titane entre les grains primitifs d'ilménite.

PLANCHE I

Photographie 1

Altération des ilménites, première forme : développement de taches et granules noirs. Le produit d'altération est amorphe.

Concentré d'ilménites, lumière réfléchie, un nicol, allongement du grain : deux cent microns. Photographie sous immersion.

Photographie 2

Altération des magnétites. Développement de lamelles de martite disposées suivant les plans octaédriques du minéral.

Cette magnétite, titanifère, est en outre partiellement transformée en leucoxène (zones plus claires d'aspect granuleux).

Concentré de grains magnétiques, lumière réfléchie, un nicol, allongement du grain : cent cinquante microns. Photo sous immersion.

Photographies 3 et 4

Altération des ilménites, deuxième forme : développement de taches et granules clairs (photographie 3). Le produit d'altération est amorphe (photographie 4). Sables consolidés.

Autour du grain, la pâte montre des petites plages brillantes d'anatase authigène baignant dans un ciment intergranulaire riche en goethite et chlorites ferrifères; la goethite apparaît gris-foncé sur les deux photos, les chlorites sont noires sur la photographie 3 et paraissent d'un flou-blanchâtre (réflexions internes) sur la photographie 4.

Minerai massif, lumière réfléchie, un nicol (photographie 3) puis nicols croisés (photographie 4), allongement du grains d'ilménite altérée : deux cent soixante dix microns. Photo sous immersion.

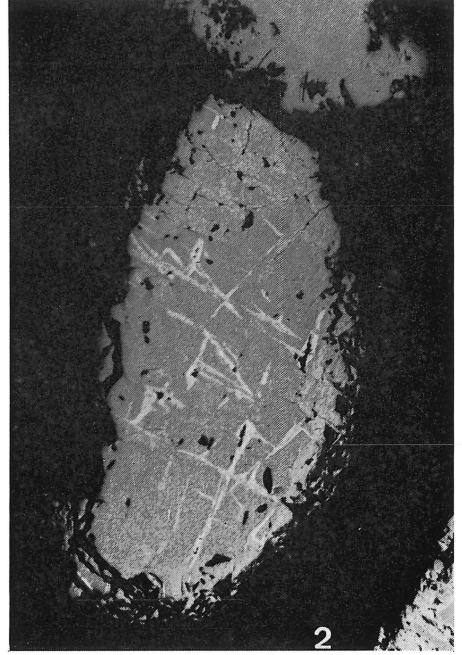
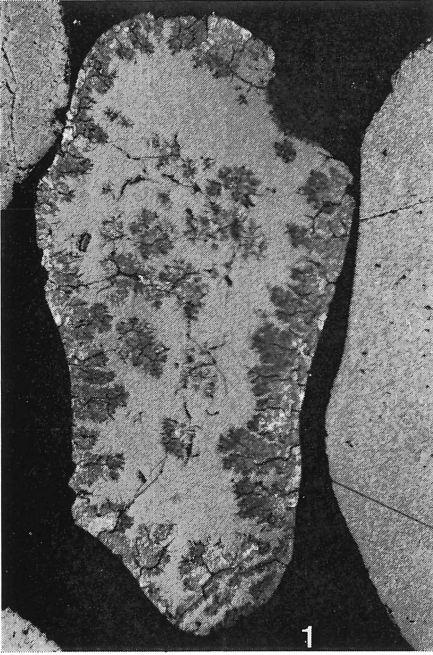


PLANCHE II

Photographies 5 et 6

Altération des ilménites, troisième forme : développement de taches claires (photographie 5). Le produit d'altération — leucoxène cristallin — n'est plus amorphe, il est riche en réflexions internes blanches (photographie 6).

Hémo-ilménite issue d'un concentré d'« ilménites », lumière réfléchie, un nicol (photographie 5) puis nicols croisés (photographie 6), allongement du grain d'hémo-ilménite altérée : cent quatre vingt cinq microns. Photographié sous immersion.

Photographies 7 et 8

Altération des ilménites, quatrième forme : épigénie totale du grain par un leucoxène semblable au rutile. Le leucoxène-rutile se distingue à ses réflexions brunes ou dorées entre nicols croisés (photographie 8) à l'aspect lisse de sa surface polie (photographie 7). Le rutile détritique présente un aspect piqueté (photographie 7). Entre nicols croisés, ses réflexions internes claires sont caractéristiques (deux grains blancs, photographie 8).

On remarquera les macles du leucoxène-rutile visibles même en lumière simplement polarisée.

Concentré non-magnétique, lumière réfléchie, un nicol (photographie 7) puis deux nicols (photographie 8), allongement moyen des grains : deux cent vingt microns. Photographié sous immersion.

PLANCHE II

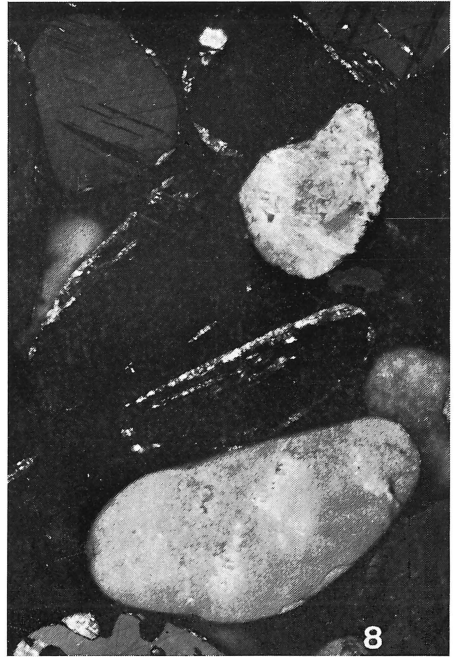
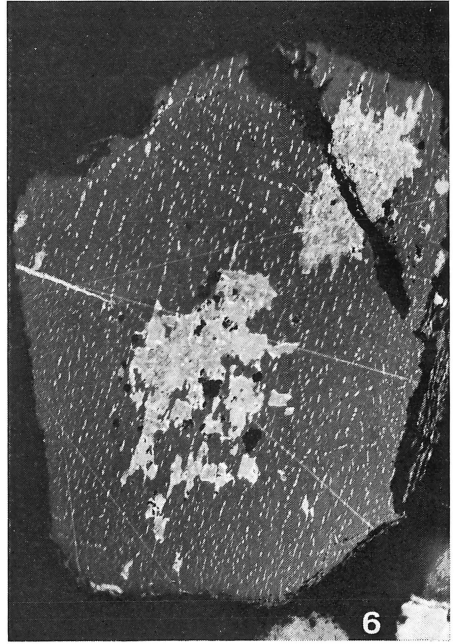
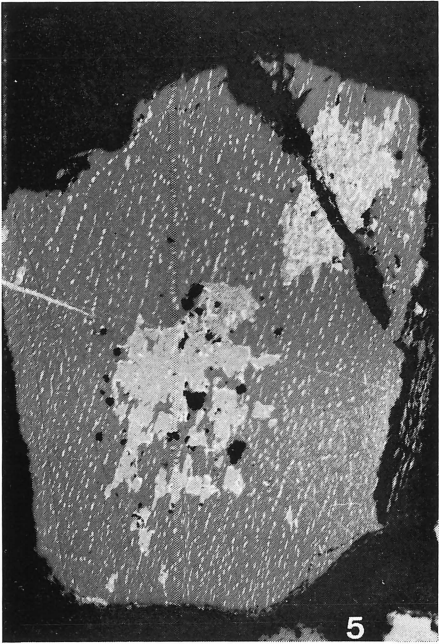


PLANCHE III

Photographie 9

Altération des magnétites : épigénie totale du grain par l'hématite-martite, les directions de clivage de la magnétite restante visibles grâce à l'allongement des lamelles d'hématite.

Concentré de grains magnétiques, lumière réfléchie, un nicol allongement du grain : deux cent microns. Photographié sous immersion.

Photographie 10

Altération préférentielle de l'ilménite dans un grain complexe montrant une double exsolution de l'hématite dans l'ilménite et une double exsolution de l'ilménite dans l'hématite.

Concentré d'« ilménites », lumière réfléchie, un nicol, allongement du grain : deux cent microns. Photographié sous immersion.

Photographie 11

Sables consolidés, section polie du minerai brut montrant l'impressionnement mutuel des grains.

Le grain médian ne comporte plus que quelques plages (gris moyen) d'ilménite, pour le reste, il est visible que le minerai s'est transformé en goethite (gris foncé) et en anatase bien cristallisée (gris blanc).

Minerai massif, lumière réfléchie, un nicol, allongement des grains : deux cent quinze microns. Photographié sous immersion.

Photographie 12

Sables consolidés, section polie du minerai brut.

On notera l'altération préférentielle de l'hématite dans les grains d'hémo-ilménite.

Le ciment intergranulaire très poreux montre une abondance de cristaux d'anatase idiomorphe se détachant en blanc sur un fond de goethite.

Minerai massif, lumière réfléchie, un nicol, allongement des grains d'ilménite : deux cent microns ; dimension moyenne des cristaux d'anatase : quarante microns. Photographié sous immersion.

