

ÉTUDE

ASPECTS EXOGÈNES DU GISEMENT DE MANGANÈSE DE GRAND-LAHOU (COTE D'IVOIRE)

par G. GRANDIN,
ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé (Côte-d'Ivoire)

Résumé

Dérivant d'un protore obtenu par dépôt sédimentaire du manganèse mis en solution lors du volcanisme ophiolitique initial birrimien, le gisement de Mokta consiste essentiellement en minerais superficiels obtenus d'une part par accumulation dans le sol des zones sommitales, de blocs de minerai provenant du démantèlement des lentilles en place et d'autre part par dépôt du manganèse lessivé, dans les horizons profonds des sols des pentes inférieures. Ce minerai s'est mis en place au cours des phases successives d'altération et d'érosion du Quaternaire récent.

1. — Traits généraux du gisement

1.1.

Le gisement de manganèse de Grand-Lahou (Côte-d'Ivoire) comme tous les gîtes manganésifères ivoiriens présente les caractères d'un dépôt sédimentaire associé aux manifestations du volcanisme ophiolitique initial birrimien. Les couches minéralisées font partie d'une série de schistes très fins, peut-être partiellement cinéritiques, et de quartzites provenant de la précipitation des émanations siliceuses accompagnant la mise en place sous-marine des ophiolites. Ces dernières sont présentes à quelques kilomètres du gisement sous forme d'un massif de dolérites et de roches vertes. Un léger métamorphisme a affecté la série birrimienne; et le protore non oxydé, rarement reconnu, comporte le grenat spessartine, la dialogite, éventuellement la braunite, sans qu'il puisse être exclu que certains oxydes en proviennent directement. Quoi qu'il en soit, le minerai primaire est inexploitable et seules les actions d'oxydation et de concentration des agents météoriques ont permis au gisement d'acquiescer une valeur économique.

1.2.

L'horizon minéralisé apparaît sur une dizaine de kilomètres le long d'une chaîne de collines de direction birrimienne (NE-SO) culminant à 120 m d'altitude. Le niveau de base se situe vers 20 m.

Trois types de minerai sont présents :

- minerai de lentille en place, interstratifié dans les schistes;
- minerai de démantèlement, formant des amas de blocs recouvrant les têtes de lentilles;
- minerai de cuirasse en couches le long de pentes faibles, recouvertes par quelques mètres de sol stérile ou à l'affleurement.

La répartition est la suivante :

- lentille : 8 % ;
- démantèlement : 77 % ;
- cuirasse : 15 %.

Même si ces chiffres qui datent de 1962 sont probablement à modifier, à l'heure actuelle, au profit du minerai de lentille, ils n'en manifestent pas moins un phénomène tout à fait remarquable lorsque l'on sait que les minerais de démantèlement et de cuirasse sont localisés entre la surface topographique et une profondeur qui ne dépasse pas quinze mètres : *le décapage de dix à quinze mètres de terrain sur les croupes sommitales et les pentes de la chaîne de collines ferait disparaître 90 % du minerai exploitable.*

1.3.

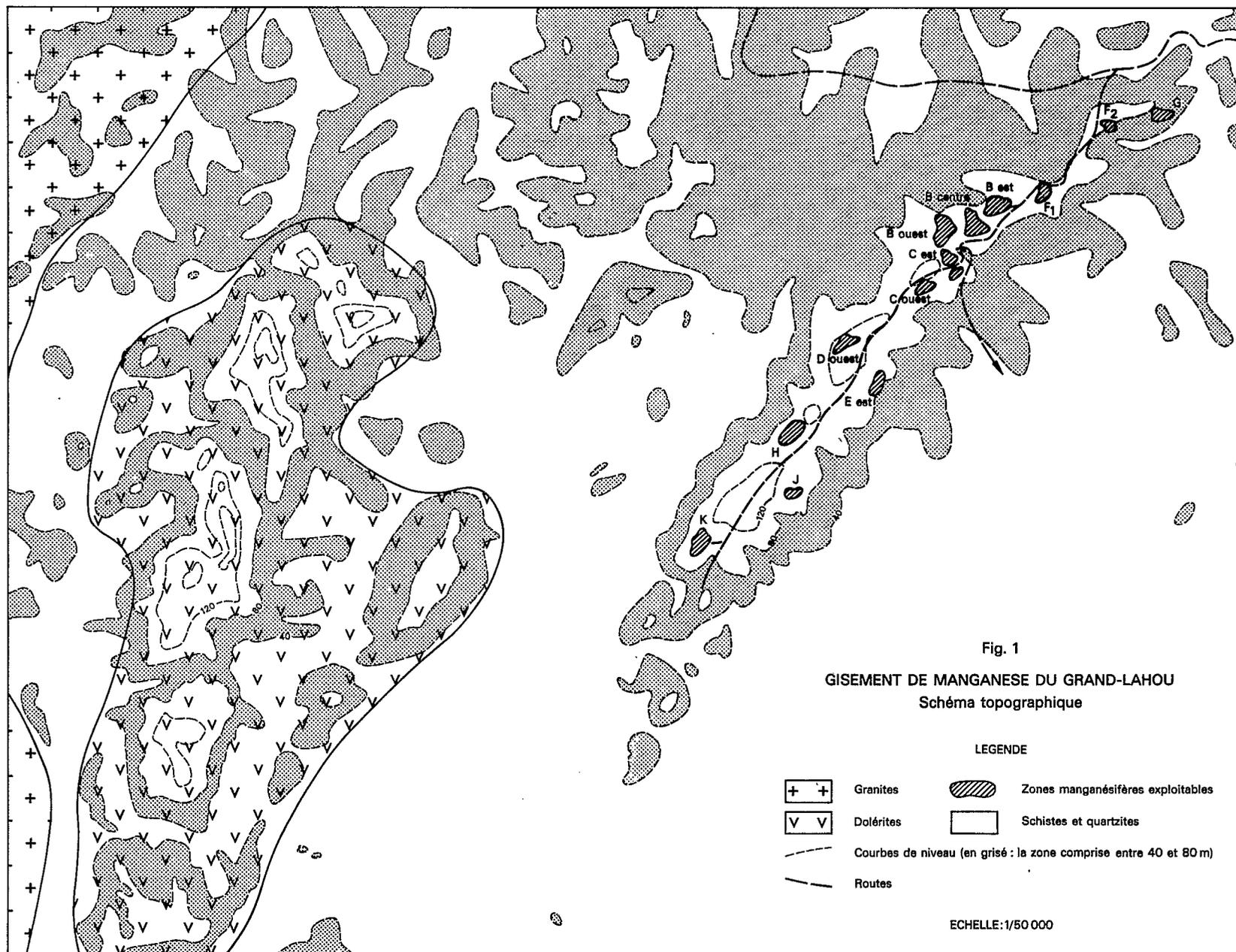
Certes il faudrait scruter loin dans le passé de la Basse Côte-d'Ivoire pour trouver des conditions érosives comparables à celle d'une glaciation des Alpes, capable de déblayer des centaines de mètres de terrain en un laps de temps assez bref.

Il est toutefois établi qu'au cours du Quaternaire ancien s'est développé le niveau 100 m du Conti-

O. R. S. T. O. M.

Collection de Référence
n° 6623 Geol.

29 JAN 1974



mental Terminal de la zone côtière ivoirienne qui correspond dans la région du gisement (situé à 25 kilomètres de la mer) aux plateaux cuirassés de 140 mètres d'altitude. Ces plateaux représentent les zones basses de l'époque et les collines formant le gisement devaient alors avoir une altitude au moins égale.

La régression marine attribuée au Préouljien, accompagnée d'un climat tropical sec correspond ensuite à une phase d'érosion au cours de laquelle se développe le niveau 40 m dans la zone côtière actuelle et qui porte le niveau de base dans la région du gisement vers 60-65 m. Elle est suivie d'une transgression (Ouljien ?) avec installation d'un climat sub-équatorial chaud et humide, donc d'une phase d'altération intense, jusqu'à ce qu'une nouvelle période d'érosion (Préflandrien ?) porte le niveau de base dans la région du gisement à une altitude voisine de l'actuelle (20 m).

Les variations de la surface topographique du gisement au cours du Quaternaire ont ainsi présenté une amplitude suffisante pour que l'on doive envisager la mise en place des minerais superficiels au cours de cette ère. Leur disposition actuelle a donc un caractère très éphémère au regard de l'âge birrimien du gisement.

2. — Les amas de démantèlement

2.1.

Le minerai de démantèlement se présente sous forme d'amas de blocs subhorizontaux, grossièrement elliptiques, de quelques mètres d'épaisseur, coiffant les têtes de lentilles qui ne montrent ainsi jamais d'affleurements en place, avec une plus grande extension vers l'aval topographique. L'extension et le tonnage de ces amas sont considérables au regard de la puissance des lentilles et c'est un minimum de vingt à trente mètres de lentille qui a été nécessaire à leur formation, même si l'on admet que la puissance des lentilles a pu être supérieure dans les parties disparues. Du centre à la périphérie et de la base au sommet d'un amas la proportion de stérile argileux augmente et la taille des blocs décroît tandis qu'ils se recouvrent d'une croûte concrétionnée pauvre comportant, en mélange avec les oxydes de manganèse, de l'argile et des oxydes de fer.

2.2.

Ces caractères s'accordent mal avec l'hypothèse d'une formation au cours d'une phase d'érosion mécanique, par accumulation de débris d'affleurements en relief, bien que cette idée soit la première qui vient à l'esprit pour expliquer la formation de blocs à partir de niveaux résistants. De plus les lentilles sous-jacentes au démantèlement sont constamment « fauchées » ; leur pendage initial sub-vertical diminue rapidement lorsqu'on arrive dans la zone altérée, passant dans certains cas presque à l'horizontale.

Au cours d'une phase d'altération par contre, on assistera à une évolution différente du minerai et de ses éponges schisteuses. Les schistes vont s'altérer rapidement, perdre leur structure, se

transformer en une masse plastique qui subit un lessivage intense entraînant une diminution de volume, donc d'épaisseur. Le banc minéralisé, plus résistant, ne subira que des modifications lentes. Se trouvant bientôt environné d'une masse meuble dont l'épaisseur diminue, il va subir sous l'action du poids des terrains sus-jacents et de son propre poids un affaissement caractérisé d'abord par une courbure du banc puis par sa fracturation entraînant la formation de blocs qui tendent à retrouver dans le sens horizontal l'extension verticale antérieure du banc minéralisé. L'étalement de l'amas sera favorisé par les phénomènes de glissement, de creeping accompagnant l'évolution des niveaux d'altération épais. À proximité d'une pente le fauchage de la lentille sera particulièrement net et l'amas s'étendra essentiellement vers l'aval topographique.

2.3.

L'altération atteindra des couches de plus en plus profondes de schistes au fur et à mesure de l'abaissement de la surface topographique, réalisé sans intervention notable d'ablation en surface, tandis que l'oxydation du protore progressera. L'accumulation des blocs de démantèlement, sous la surface du sol, se poursuivra de façon continue pendant toute la phase d'altération, et des amas importants pourront ainsi être obtenus, qui correspondent à l'accumulation à l'intérieur du sol des éléments résiduels de l'altération.

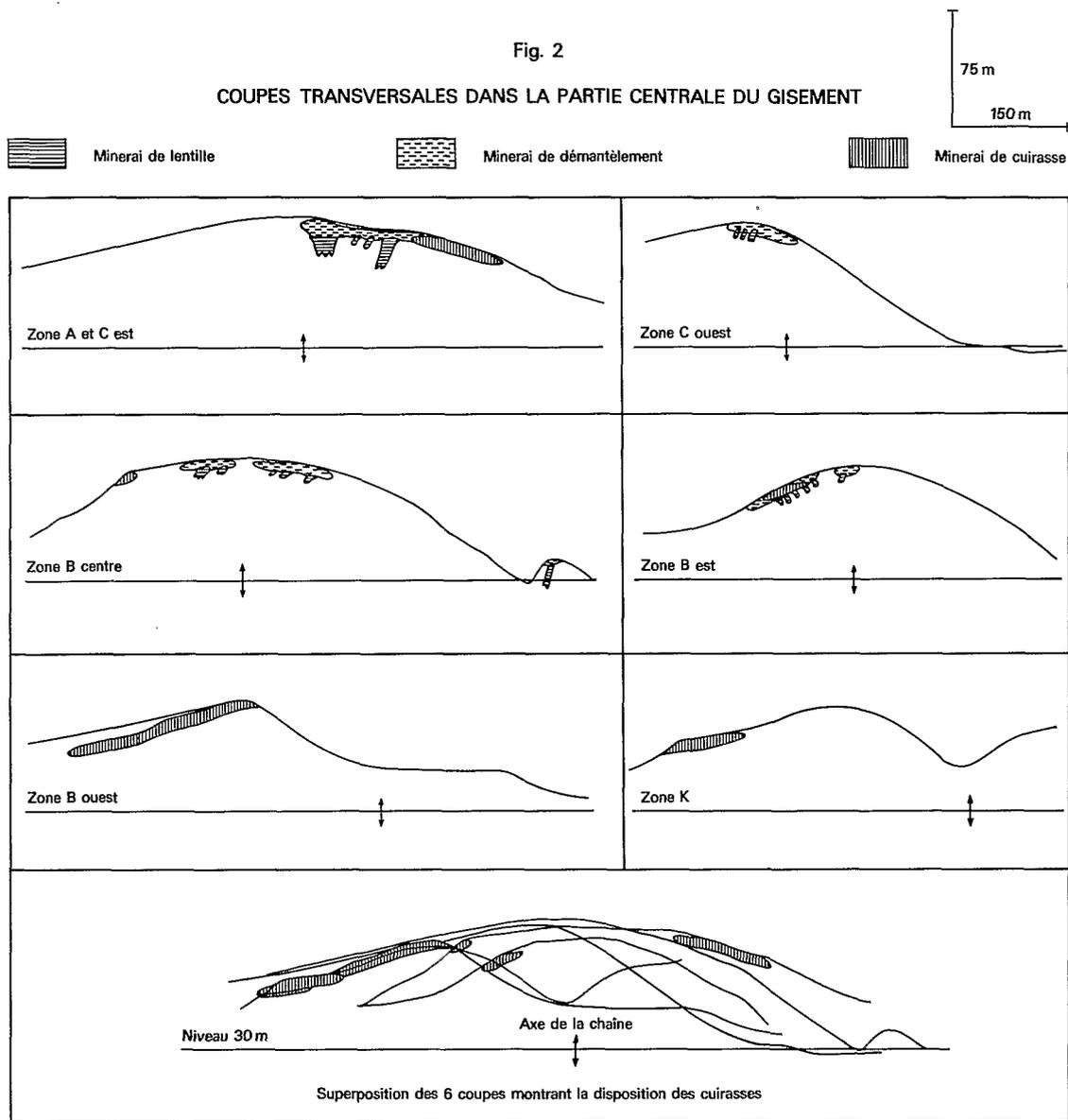
Refoulés en périphérie, les blocs les plus anciens subiront une fracturation plus importante, ils seront lessivés en silice (1) et en manganèse, enrichis relativement en alumine. Une faible partie du manganèse et du fer lessivés de l'ensemble des formations précipitera sous forme de concrétions pauvres autour des blocs et de pisolites, le reste migrant vers les bas de pente par lessivage oblique.

3. — Les cuirasses

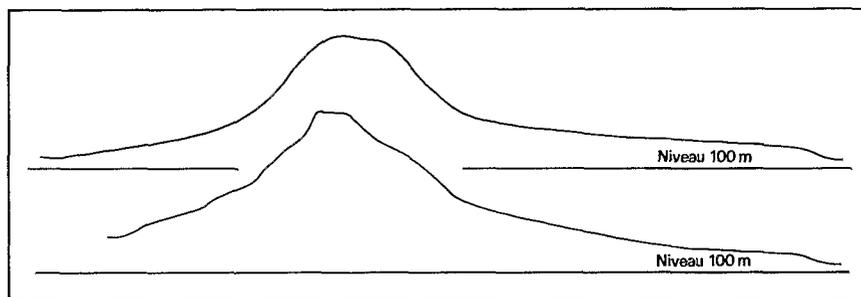
3.1.

Les cuirasses occupent sur le gisement une position morphologique remarquablement constante. Localisées en altitude entre 65 et 100 m, elles se situent sur des pentes régulières de 10 à 15 %, généralement sous une couverture stérile de quelques mètres ne comportant pas de roches en place ni même d'éléments comportant une structure primaire à l'exception de cailloux de quartz. Lorsqu'elles affleurent, la mise à l'affleurement est en relation avec une érosion postérieure à la mise en place. L'existence de replats vers 65 m au pied de ravins anciens et le profil des chevrons séparant les entailles récentes sur les flancs de la chaîne de collines prouvent qu'avant cette phase d'érosion le niveau de base se situait vers 60-65 m, c'est-à-dire qu'au moment de leur mise en place les cuirasses occupaient les bas de pente. Elles corres-

(1) Dont une partie peut précipiter dans les fractures des blocs : en particulier des veinules de calcédoine secondaire en aiguilles millimétriques à extinction très oblique ont été observées.



COUPES DE COLLINES DANS LA ZONE DE SAVANE AU NORD DE TOUMODI



pondent à la précipitation du manganèse apporté par lessivage oblique dans les argiles d'altération et les colluvions des glacis développés au pied des collines.

3.2.

Le lessivage et le transport du fer et du manganèse sont comparables. Mais la stabilité du manganèse en solution est plus forte que celle du fer : le potentiel d'oxydation nécessaire pour passer du manganèse divalent au manganèse tri- ou tétravalent est plus élevé que le potentiel nécessaire pour passer du fer ferreux au fer ferrique. L'aération d'une solution de bicarbonate ferreux et manganéux par exemple, suffit à précipiter l'hydroxyde ferrique mais ne permet pas l'apparition de composés oxydés du manganèse. À potentiel d'oxydation constant, une élévation lente du pH provoque d'abord la précipitation du fer, ensuite celle du manganèse. Dans certains cas particuliers, notamment lorsque les conditions physico-chimiques varieront de façon progressive, une bonne séparation du fer et du manganèse pourra être réalisée. Le manganèse sera entraîné plus loin en profondeur et se déposera lorsque le pH atteindra une valeur de l'ordre de 8. La formation de cuirasse en bas de pente, à la base du profil, sous une certaine épaisseur d'argile tachetée, surmontée d'horizons comportant des pisolites et rognons à forte teneur en fer et faible teneur en manganèse peut ainsi se concevoir.

3.3.

L'abaissement du niveau de base réalisé par la phase d'érosion ultérieure a toutefois provoqué un enrichissement supplémentaire ainsi que l'induration définitive de la cuirasse. En effet l'amélioration du drainage a entraîné un lessivage. Mais tandis que le stock de manganèse diminuait dans une proportion relativement faible, le fer, présent en petites quantités, était éliminé presque complètement ainsi que les résidus argileux et la silice éventuellement présente. L'acquisition des magnifiques structures concrétionnées, en choux-fleur, en pelure d'oignon, date probablement de cette remobilisation du manganèse, facilitée par la fracturation des cuirasses accompagnant leur port en altitude. Dans les blocs ainsi concrétionnés la proportion de vides est importante y compris de larges anfractuosités dans lesquelles se sont formés de véritables stalactites manganésifères. La reprécipitation presque sur place d'une bonne partie du manganèse mis en mouvement au sein de la cuirasse est facilitée par le fait que l'oxydation du manganèse se produit beaucoup plus facilement sur une surface solide appropriée, l'oxyde fournissant lui-même de telles surfaces (autocatalyse).

3.4.

Concernant le cuirassement, il faut noter qu'à côté des aspects chimiques, les phénomènes biologiques liés à la décomposition de la matière organique ont pu jouer un rôle important, tant par

les modifications de potentiel redox du milieu que par la production de résidus de fermentation solubles doués d'une forte activité. Le passage en solution sous forme d'ions complexes négatifs permet la migration du métal dans des milieux défavorables à la migration de cations. L'oxydation du cation métallique peut se faire au sein du complexe formé. La quantité de substances organiques protectrices nécessaires étant proportionnelle à la valence du cation, la précipitation a lieu par manque de ces substances et lors de leur consommation par des microorganismes.

4. — Chronologie de la formation des minerais superficiels

Ainsi conçue, la mise en place des démantèlements et des cuirasses s'inscrit logiquement dans l'évolution morphologique du gisement. La phase d'érosion préouljienne a déterminé la formation d'une colline relativement nerveuse avec à la base des glacis à pente faible bien développés. Cette forme a dû être atteinte assez rapidement et correspond à un état d'équilibre avec les conditions climatiques. Elle s'observe d'ailleurs en Côte d'Ivoire dans la zone de savane. C'est seulement après la réalisation de ce modèle qu'a débuté la mise en place des minerais superficiels qui n'a pris toute son ampleur qu'à l'époque de la transgression ouljiennne. L'altération intense a entraîné en amortissement progressif de la colline dont l'altitude a diminué de vingt à trente mètres. Le stock de manganèse compris dans cette tranche de terrain s'est constitué en amas de démantèlement (accumulation relative) et en cuirasses (concentration absolue).

La régression préflandrienne a trouvé une colline basse dont la hauteur de commandement n'excédait pas 50-60 m. L'érosion correspondante n'a pas eu le temps de remodeler entièrement le gisement avant le retour du climat humide actuel et de la forêt dense accompagnant la transgression flandrienne. Elle a inscrit un certain nombre d'entailles sur les flancs des collines, dépassant par endroit l'axe de la chaîne, supprimant peut-être certaines minéralisations d'extension réduite, écornant les cuirasses, entraînant leur fracturation par les infiltrations, les basculements ou glissements induits par le creusement en aval. Conjointement était provoqué un dernier enrichissement, par élimination des éléments stériles lessivés en même temps qu'une partie du manganèse. Cet enrichissement s'est poursuivi jusqu'à nos jours et l'on peut observer au pied des collines les toutes premières manifestations de la formation de nouvelles cuirasses à partir du manganèse lessivé.

Conclusion

Dans le cas du gisement de Mokta les phénomènes d'altération apparaissent susceptibles de procéder à des concentrations importantes, de valeur économique, indépendamment du rôle d'oxydation du protore. Ce qui joue est non seulement l'ampleur des phénomènes climatiques d'al-

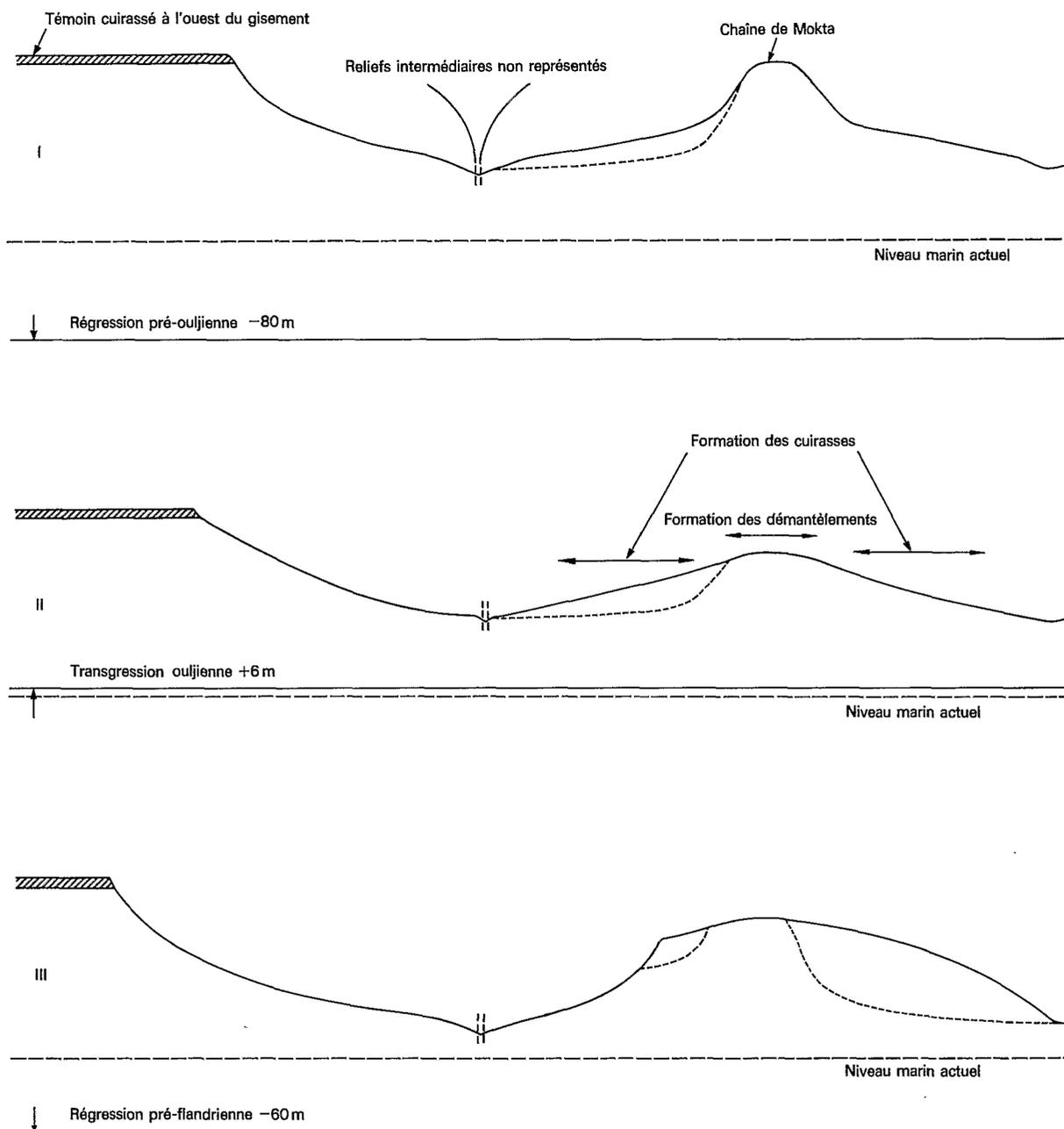


Fig. 3

EVOLUTION DU RELIEF DE LA CHAÎNE DE COLLINES DE MOKTA

Représentation schématique en coupe transversale

I à la fin du pré-ouljien

II à la fin de l'oulijien

III à la fin du pré-flandrien

En pointillé : variantes liées aux entailles transversales

tération mais la relative modestie des phases d'érosion (faible amplitude des variations de niveau marin et des mouvements du socle). L'absence de déblai rapide des matériaux de surface permet aux facteurs météoriques d'accumuler leur action à travers les phases climatiques successives.

Particulièrement en zone tropicale, l'étude des formes de relief et de leur évolution peut donc être un élément important de la prospection minière et doit être entreprise parallèlement aux études géologiques.

Annexe A : Description de profils

A. 1) Zone G.

Profil de l'amas de démantèlement dans la tranchée au nord de l'extrémité du terrain d'atterrissage. Les horizons superficiels ont été tronqués par le décapage au bull.

- 5,50 m : Cailloux et graviers de minerai entourés d'un cortex centimétrique d'oxydes mats, poreux, friables, dans une matrice argileuse brun clair à nombreux pisolites manganésifères sphériques de quelques millimètres de diamètre, à structure concentrique autour d'un nucléus généralement constitué d'un petit grain de minerai.
- 5 m : Blocs, cailloux et graviers de minerai en proportion plus forte, à cortex moins développé dans une matrice argileuse tachetée à concrétions ferrugineuses indurées. Quelques pisolites.
- 4 m : Blocs et cailloux de minerai lité, anguleux. Argile interstitielle en proportion faible.
- 3,50 m : Cailloux de minerai à passées stériles, plaquettes de schistes manganésifères dans une matrice d'argile tachetée.
- 2,6 m : Gravier de minerai pauvre et plaquettes ferrugineuses dans une argile d'altération rouge à petites taches jaunes.
- 2,4 m : Plaquettes et rognons de schistes ferruginisés, parfois compacts et très durs, dans une matrice argileuse brun clair à orangé.
- 2 m : Argile d'altération de schistes, brun clair, passant au brun jaune clair dans la partie inférieure.
- 1 m : Schistes altérés en place.
- 0 m :

A. 2) Zone B ouest.

Profil de la couverture stérile de la cuirasse en bordure de la partie dégagée pour l'exploitation. Profil légèrement tronqué par le déboisement de la zone au bull.

- 0 : Horizon argilo-sableux, meuble, brun clair, avec quelques pisolites à structure concentriques associant oxydes de fer et oxydes de manganèse.

- 80 : Horizon plus argileux, plus compact, avec de très nombreux pisolites sphériques de 3 à 5 mm de diamètres moyen et des nodules manganésifères comportant des résidus d'argile.
- 170 : Horizon à pisolites moins nombreux, structure polyédrique fine peu développée.
- 190 : Horizon argileux compact, en relief dans le profil, structure polyédrique avec recouvrement argileux des agrégats.
- 290 : Passage à une argile tachetée par apparition de taches blanches à bords francs, de quelques centimètres de dimension principale, allongées en moyenne dans le sens vertical.
- 320 : A une soixantaine de mètres légèrement en contre-bas, cette argile tachetée est observée sur 1,5 m d'épaisseur. A la base apparaît la cuirasse manganésifère en place.

A. 3) Zone B est.

Replat colluvionné au pied de la zone avant la vallée du marigot. Paroi d'une tranchée destinée à l'évacuation des eaux de ruissellement. Carapace manganésifère en formation.

- 0 m : Horizon argileux à nombreux cailloux et graviers de quartz non usés, apparaissant comme un matériel d'altération de schistes, lessivé puis remanié avec faible transport et concentration des débris de filons de quartz. La partie supérieure est gris blanchâtre. La partie inférieure sur 1,60 m environ, en relief dans le profil a subi une imprégnation manganésifère qui se manifeste par de nombreux placages noir violacé déterminant des sortes d'agrégats polyédriques mal individualisés. Bien que la proportion d'oxyde de manganèse soit encore très faible, ce matériel acquiert à l'air une certaine induration.
- 3 m : Schistes en place altérés, formant une masse argileuse plastique où le litage se manifeste par les différences de couleur de lits successifs sans correspondre à l'existence de plan de séparation permettant le clivage. Imprégnés d'eau, ces schistes forment un niveau relativement imperméable justifiant la présence d'une nappe permanente dans les matériaux de recouvrement. Au contact du recouvrement et des schistes, l'eau suinte, localement sous forme de véritables petites sources. A ces points de sortie de l'eau se sont constituées des croûtes manganésifères gris noir, poreuses, friables, atteignant cinq centimètres d'épaisseur, et une teneur en oxyde MnO_2 de 23 %.
- 5 m :

Annexe B : Manganèse dans les eaux

B. 1) Eaux de ruissellement.

En début de saison des pluies, quatre échantillons d'eau de ruissellement ont été prélevés à la fin d'une pluie sur le gisement et un échantillon,

peu de temps après la fin de la même pluie, à trois kilomètres du gisement. Les teneurs en manganèse et fer (métal) sont les suivantes :

	Mn en ppm	Fe en ppm
B Est. Zone partiellement exploitée (minerai et schiste) .	1,17	0,22
B Centre. Zone exploitée (schistes manganésifères)	0,92	0,35
C Ouest. Tranchée (schistes et passées minéralisées)	0,49	0,16
B Ouest. Zone en cours de découverte (sol argileux à pisolites)	0,42	0,15
Prélèvement à trois kilomètres du gisement	0,10	0,65

En comparaison, des eaux de ruissellement prélevées tant dans la zone de savane que dans la zone de forêt (dans le cadre de l'étude du bassin versant du Bandama effectuée par les sédimentologues de l'ORSTOM sous la direction de J. P. MANGIN) donnent pour seize échantillons des teneurs en manganèse comprises entre 0,001 et 0,032 ppm et des teneurs en fer variant de 0,02 à 0,43 ppm.

La charge d'eau n'ayant eu qu'un bref contact avec le gisement manifeste donc la relative facilité de mise en solution du manganèse.

B. 2) Eaux souterraines.

B. 2.1.

Tranchée au minerai, zone H nord (crête de la colline à un endroit où celle-ci s'abaisse vers 95 m).

Des venues d'eau ayant eu lieu lors de l'ouverture de la tranchée un prélèvement a été effectué par l'ingénieur dirigeant les travaux auxquels je suis très reconnaissant, et conservé plus de six mois avant de m'être remis à mon retour de France. Une fraction solide relativement importante s'était déposée au fond du flacon. Il ne m'a pas été possible d'avoir la certitude absolue qu'aucune particule solide n'avait été prélevée en même temps que l'eau. Mais ce dépôt présentait l'allure d'un précipité (flocons décantant lentement après agitation) et l'observation à la binoculaire après séchage l'a montré constitué d'agrégats poreux et fragiles, à l'exclusion de tout grain de minerai compact. L'attaque ($H_2SO_4 + H_2O_2$) s'est révélée facile, sans broyage préalable, confirmant l'état très divisé. Le précipité comportait 8,2 mg de manganèse métal correspondant pour l'échantillon d'eau de 500 ml à une teneur de 16,4 ppm (l'eau elle-même ne comportant plus de manganèse qu'à l'état de traces).

B. 2.2.

Zone B est. Tranchée recoupant la carapace en formation (altitude 60 m). Deux échantillons d'eau prélevés en pleine saison sèche, l'un à un point d'écoulement de la nappe situé dans la partie amont de la tranchée, l'autre dans la partie aval, ont donné des teneurs respectives en manganèse métal de 1,40 et 0,94 ppm. Ces teneurs ne sortent pas du cadre des teneurs normales des eaux souterraines. Ces eaux ont donc déposé dans le profil l'excès de manganèse qu'elles pouvaient contenir.

La comparaison de ce résultat au résultat de 2.1) montre que les eaux descendant des pentes peuvent déposer au pied des collines jusqu'à 15 ppm de manganèse. Dans une zone de dépôt drainant un versant cinq fois plus vaste où l'infiltration annuelle peut être estimée à un mètre, 15 ppm, cela ne correspond qu'à 24 microns d'oxyde à la densité 5 (1). Au bout de 100 000 ans cela fait toutefois 3,50 m de minerai à 50 % de manganèse métal (2) c'est-à-dire une cuirasse du type de celles qui sont exploitées.

Bibliographie

- BETREMIEUX R. — Etude expérimentale de l'évolution du fer et du manganèse dans les sols. *Annales INRA*, mai-juin 1951.
- CANCE *et autres*. — Le gisement de manganèse de Grand-Lahou. Rapport non publié, 1958.
- CHOUTEAU R. — Note sur la genèse du gisement de Grand-Lahou. Note non publiée, 1962.
- HEM J.D. — Chemical equilibria affecting the behaviour of manganese in natural water. *Bull. Assoc. Inter. Hydrologie Scient.*, n° 3, 1963.
- KRAUSKOPF. — Manganese in volcanic associations. XX^e Congrès Géol. Inter. Symposium Mn. Tome 1, 1956.
- LE BOURDIEC P. — Contribution à l'étude géomorphologique du bassin sédimentaire et des régions littorales de Côte d'Ivoire. *Etudes Eburnéennes VII IFAN* 1958.
- ROUGERIE G. — Le niveau des 200 m et les niveaux récents en Côte d'Ivoire. *Etudes Eburnéennes VII IFAN* 1958.
- ZANONE L. — Le manganèse en Côte d'Ivoire. Rapport SODEMI 1964.

(1) $5 \cdot 15 \cdot 10^{-6} \cdot 87/55 \cdot 1/5 = 24 \cdot 10^{-6} m$ soit 24 microns 87 : MnO₂, 55 : Mn.

(2) Minerai à 50 % considéré comme un mélange d'oxyde à 63 % de densité 5 et de stérile de densité 2,8
 $2,4 [1 + (63 - 50)/50 \cdot 5/2,8] = 3,5$.