

DISTRIBUTION DE LA GRANULOMÉTRIE ET DE LA MINÉRALOGIE DE LA CHARGE DE FOND SABLEUSE DU BASSIN DE L'OUBANGUI (REPUBLIQUE CENTRAFRICAINE ET REPUBLIQUE DU CONGO) : IMPLICATIONS SUR L'ORIGINE ET LA DYNAMIQUE SÉDIMENTAIRE DES ALLUVIONS DE L'OUBANGUI

C. CENSIER & J. C. OLIVRY

RESUME :

Une analyse granulométrique et minéralogique d'environ 400 échantillons de sables alluviaux prélevés dans le bassin de l'Oubangui permet de dégager des conclusions sur l'origine et la dynamique des alluvions de l'Oubangui. Les sables de l'Oubangui proviennent principalement de l'érosion des formations du bassin du Mbomou, secondairement du bassin d'Uélé. L'Oubangui n'a pas, sur la majorité de son cours, la force érosive suffisante pour creuser son lit. Les apports de certains affluents sont précisés ainsi que les zones du bassin versant de l'Oubangui où les processus d'érosion sont actuellement actifs.

INTRODUCTION

Avec un bassin versant de 643 900 km² et un module annuel de l'ordre de 4 000 m³s⁻¹ (CALLEDE, sous presse), l'Oubangui est, après le Kasai, le second plus important affluent du Congo.

De la confluence du Mbomou et d'Uélé jusqu'au Congo, il a une longueur de 1 127 km ; cependant, en termes géographiques, sa longueur totale est de 2 297 km puisqu'il est admis que l'Uélé représente le cours supérieur de l'Oubangui (fig. 1).

Excepté sur 200 km en amont de Bangui où il est à chenal unique avec seulement quelques barres latérales, l'Oubangui est un cours d'eau à chenaux anastomosés où les barres et les îles sableuses sont par endroits bien développées.

Afin de rechercher l'origine de la charge de fond sableuse de l'Oubangui et d'en cerner la dynamique sédimentaire, un échantillonnage des barres et des îles sableuses a été réalisé selon une maille moyenne de 5 km depuis la confluence du Mbomou et d'Uélé jusqu'à la confluence avec le Congo.

Tous les affluents de l'Oubangui ont également été échantillonnés ; les prélèvements ont été réalisés à l'aide d'un cylindre de type Berthois dans l'axe du chenal principal sur les derniers kilomètres de leur cours inférieur.

L'échantillonnage a aussi porté sur le Mbomou et ses principaux affluents ; les prélèvements ont été effectués sur les berges. Enfin, les barres sableuses d'Uélé, situées dans les derniers kilomètres de son cours ont été échantillonnées.

Les quelques 400 échantillons ainsi récoltés ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et minéralogique.

I. ANALYSE GRANULOMETRIQUE

A. Les paramètres granulométriques

Dans la mesure où les prélèvements de tout le cours de l'Oubangui ont été réalisés durant les moyennes eaux, cette méthode de prélèvement autorise des comparaisons significatives de la granulométrie des sables puisqu'ils résultent d'une dynamique fluviale à peu près identique. La comparaison ne peut être étendue aux affluents du fait que ce sont les sables de leur chenal qui ont été analysés.

Les tamisages ont été réalisés avec des tamis de la série AFNOR dont les vides de maille sont en progression géométrique de raison 1,259. Les paramètres granulométriques retenus dans le cadre de cette étude sont :

- le premier quartile (Q1), la médiane (MD), le troisième quartile (Q3) ;
- l'indice de BIETLOT-AFNOR (C2). Cet indice de classement, défini par BIETLOT (1940), a été calculé en tenant compte de la progression géométrique des vides de maille des tamis de la série AFNOR, d'où son nom (CENSIER, 1991).

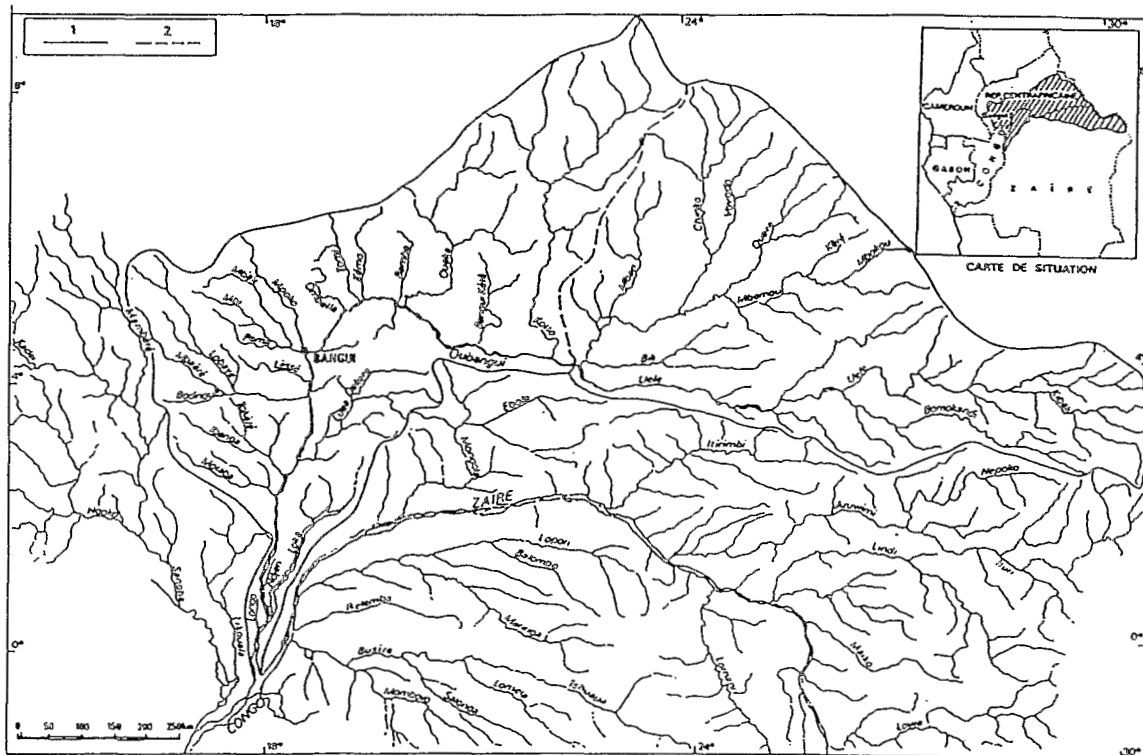


Figure n° 1

Le bassin de l'Oubangui ; 1 : limite du bassin versant de l'Oubangui ; 2 : limite occidentale des bassins versants du Mbomou et d'Uélé

B. Évolution de la granulométrie des sables de l'Oubangui

Depuis la confluence du Mbomou et d'Uélé (pk 1127) jusqu'au niveau de Bangui (pk 600), les sables deviennent globalement, par paliers successifs, plus fins (diminution du grain moyen [MD]) et mieux classés (augmentation de l'indice de BIETLOT-AFNOR [C2]) [fig. 2].

A l'aval de la confluence de la Kotto et de la Ouaka, les sables de l'Oubangui sont localement plus fins et mieux classés. Dans le premier cas, la perturbation se manifeste dès la confluence ; dans le second cas, elle apparaît plusieurs kilomètres à l'aval de la confluence. Cette différence s'explique par la variation de l'angle que forment la Kotto et la Ouaka avec l'Oubangui (BEST, 1988) et montre que les apports de ces deux affluents à l'Oubangui sont quantitativement différents. Du fait que ce sont les barres sableuses qui ont été échantillonnées, les caractéristiques observées sont d'abord celles des sables de l'affluent ou de l'Oubangui suivant le lieu de prélèvement avant d'être celles d'un sable mélangé.

A l'aval de Bangui, les sables présentent une granulométrie différente de celle des sables du cours supérieur : les sables sont moyens à grossiers jusqu'à la confluence avec le Congo. Cette variation brutale s'observe en aval de la confluence avec la Mpoko, elle même située à l'aval de la bande de collines de quartzites que franchit l'Oubangui au niveau de Bangui. On peut aussi noter que la pente moyenne du cours de l'Oubangui en aval de Bangui est de $0,06 \text{ m.km}^{-1}$, alors que celle du cours supérieur est de $0,10 \text{ m.km}^{-1}$ (CALLÈDE, sous presse).

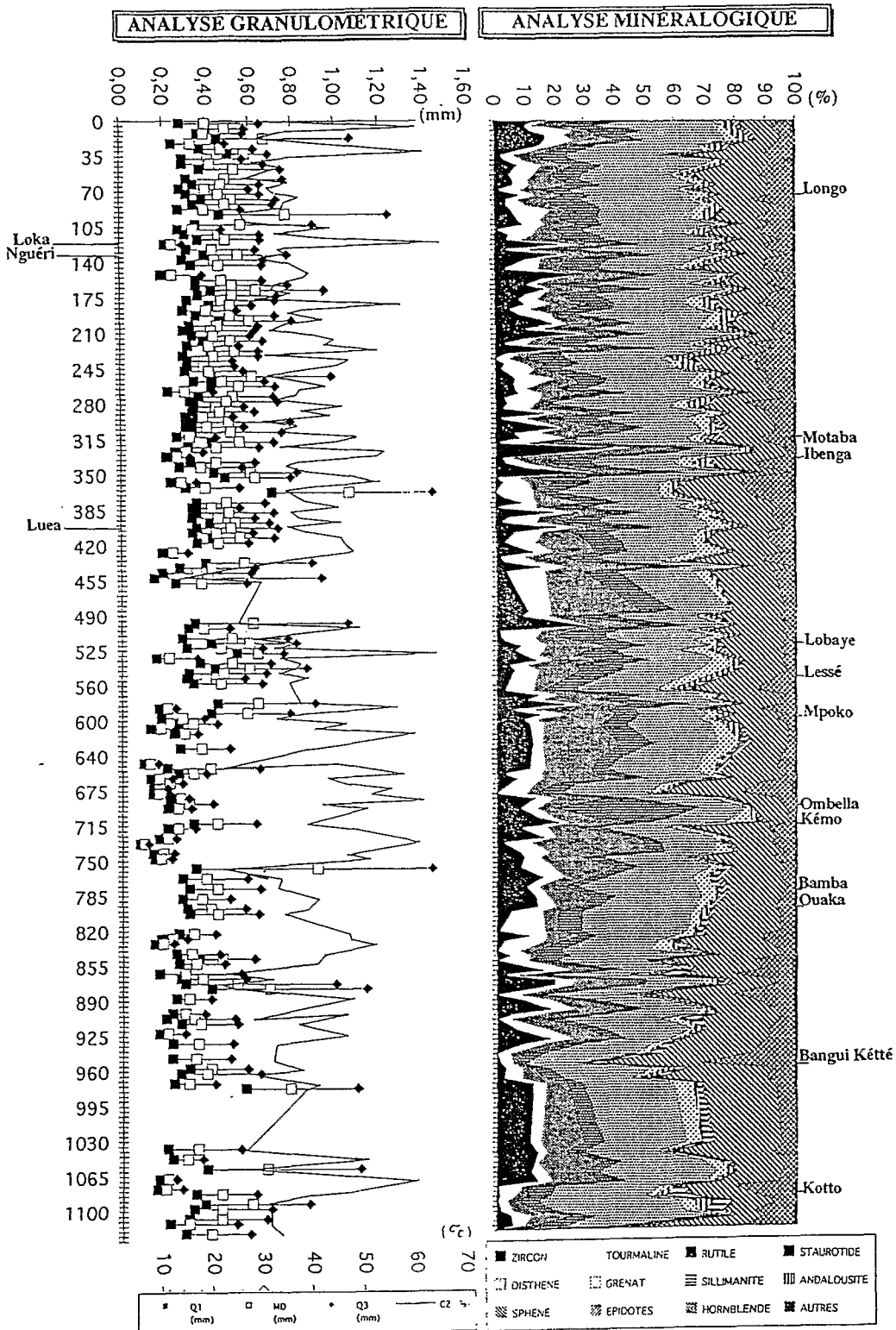


Figure n° 2
Analyses granulométrique et minéralogique des sables de l'Oubangui

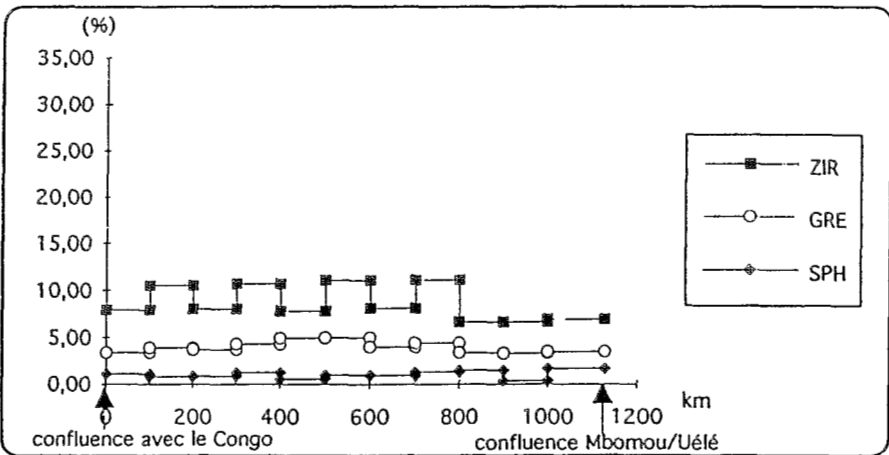
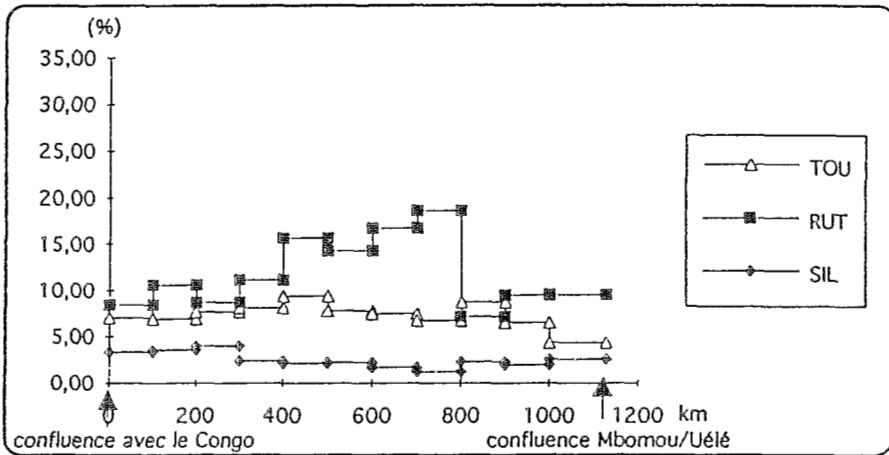
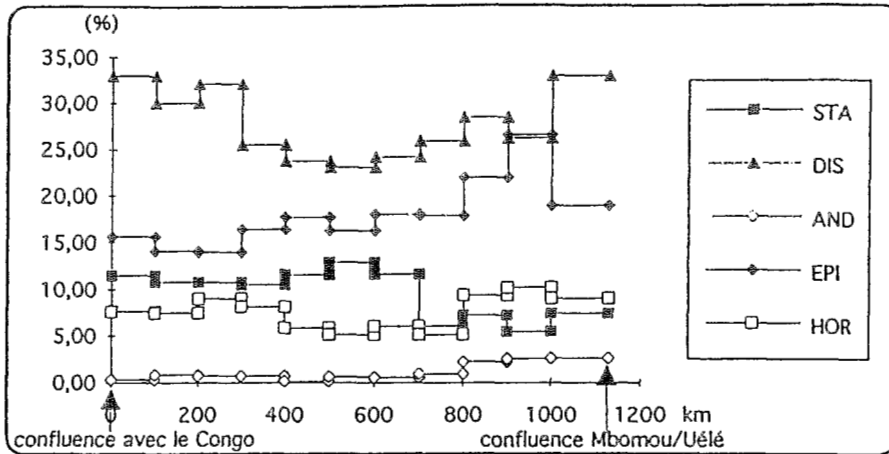


Figure n° 3
 Évolution des pourcentages des minéraux lourds des sables de l'Oubangui ; les pourcentages ont été calculés par secteur de 100 km de long. Les résultats sont donnés sur trois graphes afin d'en faciliter la lisibilité.

Le classement des sables est également moins bon en aval de Bangui. Il présente des variations en dents de scie sans liaison apparente avec la granulométrie. On constate qu'environ 50 km en aval de la confluence avec la Lobaye, les sables sont plus fins et nettement moins bien classés. Dans cette zone, l'Oubangui contient une succession de longues îles longitudinales qui freinent le mélange des deux stocks de sables. Cependant, une absence de prélèvements sur une distance de 40 km limite l'interprétation des variations observées.

II. ANALYSE MINÉRALOGIQUE

A. Méthode d'étude

L'analyse minéralogique a consisté en une détermination et un comptage des minéraux lourds ($d > 2,89$) contenus dans la fraction granulométrique $80\mu - 160\mu$, fraction retenue car contenant toutes les espèces minérales de l'échantillon (PARFENOFF et al., 1970). Cependant, seuls les minéraux transparents ont été déterminés et comptés pour établir le cortège minéralogique de chaque échantillon.

B. Évolution du cortège minéralogique des sables de l'Oubangui

Sur tout le cours de l'Oubangui, les sables contiennent la même association de minéraux lourds (fig. 2). Les minéraux les plus fréquents sont, par ordre décroissant d'importance, le disthène, l'épidote, le rutile, le zircon, la staurotite, la hornblende et la tourmaline. Le grenat, la sillimanite, l'andalousite et le sphène sont rares (de 1 à 5 %) ; l'augite, l'hypersthène, la monazite, le corindon et l'anatase ont été décelés ($< 1\%$).

L'évolution quantitative des minéraux lourds peut être appréhendée à partir de l'examen des cortèges minéralogiques moyens établis par secteur de 100 km de longueur (fig. 3) :

- les pourcentages d'épidote (après une augmentation entre les pk 800 et 1000), d'andalousite et de sphène diminuent régulièrement sur tout le cours de l'Oubangui ;
- le pourcentage de zircon augmente très légèrement à partir du secteur compris entre le pk 700 et 800, mais avec une évolution en dents de scie ;
- le pourcentage de staurotite devient sensiblement plus élevé en aval du pk 700 ;
- les pourcentages de disthène et de hornblende diminuent régulièrement jusqu'au niveau du secteur compris entre le pk 500 et 600 ; en aval de ce secteur, le pourcentage de disthène augmente jusqu'à la confluence avec le Congo, tandis que le pourcentage de hornblende augmente faiblement pour diminuer en aval du pk 200. La sillimanite suit globalement la même évolution que la hornblende mais son augmentation n'est sensible qu'en aval du pk 400 ;
- les pourcentages de tourmaline et de grenat augmentent jusque vers le secteur compris entre les pk 400 et 500, puis diminuent régulièrement jusqu'à la confluence avec le Congo ;
- le pourcentage de rutile devient brutalement plus élevé entre les pk 700 et 800 pour ensuite décroître plus ou moins régulièrement jusqu'à la confluence avec le Congo.

C. Les cortèges minéralogiques des sables des affluents de l'Oubangui

Les résultats des analyses des minéraux lourds des sables des affluents sont donnés sous forme graphique et comparés avec les cortèges minéralogiques moyens des sables de l'Oubangui (fig. 4).

Le fait remarquable est que les sables de la plupart des affluents contiennent les mêmes espèces minérales que celles rencontrées dans l'Oubangui.

Dans certains cas, la similitude entre les sables de certaines rivières peut s'expliquer par le fait que ces rivières drainent les mêmes formations géologiques :

- le cours supérieur de la Motaba, de l'Ibenga et de la Lobaye est situé sur la Formation de Carnot, formation grés-conglomératique mésozoïque ;
- le bassin versant de la Lessé, de la Mpoko et de l'Ombella est composé pour l'essentiel de formations quartzitiques protérozoïques (série de Bangui-Mbaïki) ;
- la Bamba, la Ouaka et la Bangui Ketté drainent un bassin versant composé de formations quartzitiques archéennes.

Cependant, les pourcentages de certains minéraux varient entre les sables de rivières qui drainent les mêmes formations géologiques :

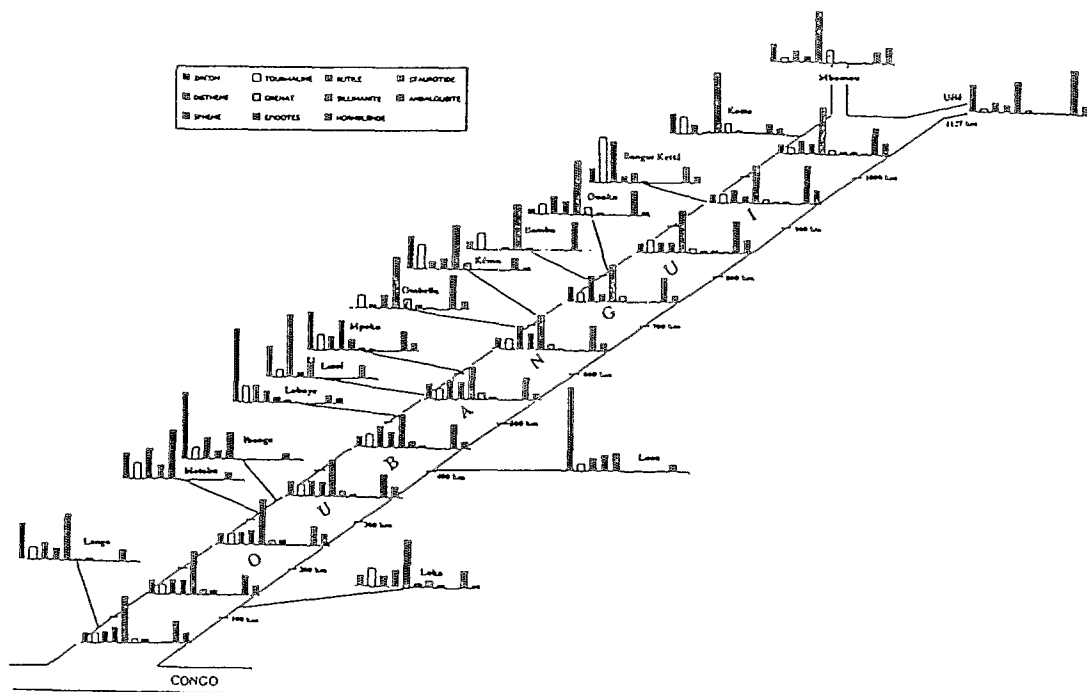


Figure n° 4
 Évolution des cortèges minéralogiques moyens des sables de l'Oubangui et de ses affluents. Les cortèges minéralogiques moyens de l'Oubangui ont été calculés par secteur de 100 km de long ; les cortèges minéralogiques des affluents correspondent à la moyenne des cortèges de tous les échantillons prélevés dans les derniers kilomètres de ces affluents.

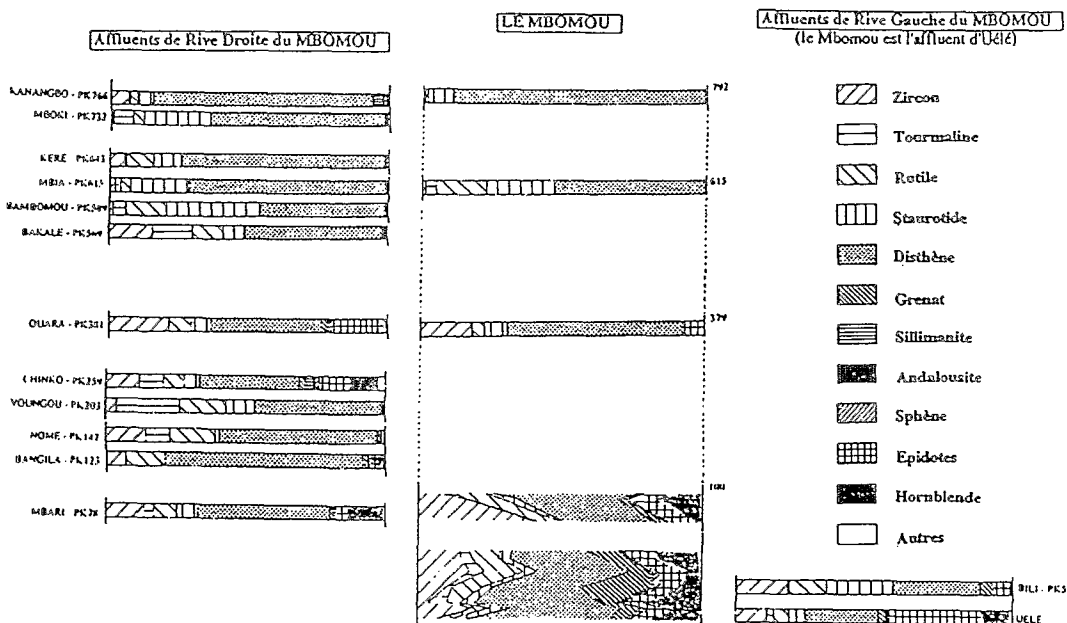


Figure n° 5
 Distribution des cortèges minéralogiques des sables du cours inférieur d'Uélé et des sables du Mbomou et de ses principaux affluents. Pour le cours supérieur du Mbomou, le cours inférieur de ses principaux affluents et d'Uélé (bien que cette dernière ait été échantillonnée sur 10 km), seul, le cortège minéralogique moyen de chaque secteur a été pris en compte.

- il y a un fort pourcentage de rutile dans les sables de la Lessé, de staurotide dans les sables de la Mpoko ; par contre, le zircon a seulement été décelé dans les sables de l'Ombella ;
- les sables de la Bangui Ketté sont plus riches en tourmaline et rutile et moins riches en disthène que ceux de la Ouaka.

En suivant l'évolution des cortèges minéralogiques des sables de l'Oubangui, on constate que des variations brutales mais fugaces apparaissent à l'aval de la confluence de la Kotto, de la Bangui Ketté, de la Kémo, de la Mpoko, de la Lobaye et de l'Ibenga. Cependant, ces variations peuvent être liées au mode de prélèvement des échantillons et ne pas traduire obligatoirement un apport important de l'affluent : à l'aval d'une confluence, la barre échantillonnée peut, selon sa position, être constituée de sable issu du cours supérieur de l'Oubangui ou de sable apporté par l'affluent ; ce phénomène est particulièrement net à l'aval de la confluence de la Lobaye où, sur près de trois kilomètres, les sables de la rive droite de l'Oubangui ont une composition minéralogique très proche de celle des sables de la Lobaye (ce résultat n'apparaît pas sur la figure 2 où, pour cette zone, seuls, les cortèges minéralogiques des barres longitudinales de l'Oubangui ont été pris en compte).

D. Les cortèges minéralogiques des sables d'Uélé et du bassin du Mbomou

L'analyse des cortèges minéralogiques des sables du cours inférieur d'Uélé et du bassin du Mbomou révèle que (fig. 5) :

- les sables du bassin supérieur du Mbomou contiennent un cortège minéralogique réduit à 5 espèces minérales qui sont, par ordre décroissant d'importance, le disthène, la staurotide, le rutile, la tourmaline et le zircon ; la sillimanite, l'épidote et le sphène n'apparaissent que de façon sporadique dans les sables des affluents ;

- en progressant vers l'aval, le cortège minéralogique des sables du Mbomou s'enrichit avec, en particulier, l'apparition de l'épidote (en aval du pk 400), de la hornblende et du grenat (en aval du pk 100) ;

- sur les 30 derniers kilomètres de son cours, le Mbomou possède des alluvions sableuses dont le cortège minéralogique est très proche de celui observé dans les sables du cours supérieur de l'Oubangui (fig. 2) ;

- l'enrichissement du cortège minéralogique des sables du Mbomou le long des 400 derniers kilomètres de son cours s'observe également sur la majorité de ses affluents, avec toutefois un pourcentage de grenat moins élevé que celui des sables du Mbomou ;

- les sables du cours inférieur d'Uélé ont également un cortège minéralogique très voisin de celui du cours inférieur du Mbomou ; cependant, ils contiennent un plus faible pourcentage de disthène et un plus fort pourcentage d'épidote.

III. INTERPRÉTATION

A. Origine principale des sables de l'Oubangui

Deux arguments montrent que l'Oubangui n'a pas, sur la majorité de son cours, la force érosive suffisante pour creuser son lit :

- les sables de l'Oubangui contiennent sur tout le long de son cours un cortège minéralogique très voisin alors que les formations géologiques sur lesquelles coule l'Oubangui sont minéralogiquement variées (fig. 6) ;
- sur les 600 kilomètres du cours supérieur de l'Oubangui, les sables sont de plus en plus fins et parallèlement de mieux en mieux classés ; cette évolution indique que, sur cette partie de son cours, l'Oubangui transporte seulement sa charge de fond.

Les sables véhiculés par l'Oubangui proviennent donc essentiellement des deux tributaires supérieurs, le Mbomou et l'Uélé.

Divers arguments militent en faveur d'un apport principal par érosion des formations géologiques du bassin du Mbomou :

- le cortège minéralogique des sables du cours supérieur de l'Oubangui est plus proche de celui du Mbomou que de celui d'Uélé (fig. 2 et 5) ;
- l'étude des profils en long révèle que le Mbomou n'a pas atteint son profil d'équilibre, notamment dans sa partie inférieure, alors que l'Uélé est en équilibre et que la majorité

des affluents du Mbomou n'ont pas atteint non plus leur profil d'équilibre (CALLÈDE, sous presse) ;

- les cours d'eau des bassins versants du Mbomou et d'Uélé sont dans leur majorité marécageux ; le bassin du Mbomou est situé dans le domaine des savanes arbustives et boisées alors que le bassin d'Uélé appartient au domaine de la forêt dense sempervirente et de la forêt sempervirente de transition vers un type semi-caducifolié (HUGHES & HUGHES, 1992 ; DE NAMUR, 1990).

Même si la géologie du bassin du Mbomou est encore mal connue, il apparaît que c'est l'ensemble du bassin qui est soumis à l'érosion (fig.7). Une partie des sables provient de l'érosion des formations gneissiques et micaschisteuses du Complexe de base situé dans le bassin versant supérieur du Mbomou ; ces formations sont riches en disthène, staurotide et rutilite (MESTRAUD, 1982 ; CENSIER et al., 1993). L'autre partie des sables provient de l'érosion des formations amphibolo-pyroxénitiques, formations riches en hornblende, épidote et grenat.

B. Origines secondaires et dynamique des sables de l'Oubangui

La fugacité des variations granulométriques et minéralogiques des sables de l'Oubangui à l'aval de certaines confluences montre que les apports de ces affluents sont quantitativement faibles et rapidement oblitérés par les sables transportés par l'Oubangui. Cependant, le mode de prélèvement des sables et la similitude des cortèges minéralogiques des sables des affluents avec ceux de l'Oubangui ne permettent pas toujours d'apprécier les apports de ces affluents.

Aussi, les apports des différents tributaires et la dynamique des sables de l'Oubangui peuvent être estimés par l'examen de l'évolution des cortèges minéralogiques moyens de l'Oubangui établis par secteur de 100 km de long, même si les limites de ces secteurs ne coïncident pas avec les confluences (fig. 3 et 4).

A partir des échelles de résistance mécanique à l'abrasion (FRIESE, 1931 ; THIEL, 1940 et 1945) et de résistance chimique à l'altération (PETTIJOHN, 1941 ; DRYDEN & DRYDEN, 1946 ; CAILLEUX & TRICART, 1959 ; FRIIS, 1974 ; MORTON, 1984), les minéraux lourds des sables de l'Oubangui peuvent être classés en :

- minéraux très résistants à résistants :
zircon, tourmaline, rutilite, grenat, sphène et sillimanite ;
- minéraux peu à très peu résistants :
staurotide, épidote, disthène, hornblende et andalousite.

Depuis la confluence du Mbomou et d'Uélé jusque vers le pk 500, la diminution des pourcentages de disthène et de hornblende, minéraux peu résistants, et parallèlement, l'augmentation des pourcentages de zircon, de tourmaline et de grenat, minéraux résistants, indiquent que les apports de tous ces minéraux par les affluents de ce secteur sont négligeables par rapport à ceux transportés par l'Oubangui. En effet, dans la mesure où tous les résultats des comptages sont donnés en pourcentage, la diminution des minéraux peu résistants s'accompagne d'une augmentation relative des minéraux plus résistants lorsque c'est le même stock de matériel détritique qui est transporté.

La diminution globale des pourcentages d'épidote du pk 900 jusqu'à la confluence avec le Congo et d'andalousite sur tout le cours de l'Oubangui indique que les apports de ces minéraux par les affluents sont négligeables pour les secteurs considérés.

L'augmentation du pourcentage de staurotide vers le pk 600 témoigne des apports de la Mpoko dans l'Oubangui ; ce résultat confirme celui obtenu par l'analyse granulométrique.

L'augmentation des pourcentages de disthène et de hornblende en aval du pk 500 et l'évolution en dents de scie du pourcentage de zircon ne peuvent être expliquées en considérant seulement qu'ils proviennent des affluents du cours inférieur de l'Oubangui :

- les sables de la Lobaye, de l'Ibenga et de la Motaba dérivent pour l'essentiel du démantèlement de la formation de Carnot, formation grés-conglomératique crétacée dans laquelle le pourcentage de disthène augmente du Nord vers le Sud (CENSIER, 1991) ; cette même évolution s'observe au niveau de ces trois affluents ; cependant, ni la Formation de Carnot, ni les affluents en dérivant ne contiennent un pourcentage de hornblende suffisant pour expliquer celui observé dans les sables de l'Oubangui entre le pk 500 et 200 ;

- aussi, l'évolution des cortèges minéralogiques des sables de l'Oubangui en aval du pk 400 ne peut s'expliquer qu'en admettant des apports par érosion des alluvions sableuses de la cuvette congolaise par l'Oubangui lui-même et/ou par ses tributaires de la plaine équatoriale. Par exemple, la Longo et la Loka, qui s'écoulent entièrement sur les formations de la cuvette congolaise, ont des cortèges minéralogiques plus riches en hornblende et disthène que les affluents issus de la Formation de Carnot.

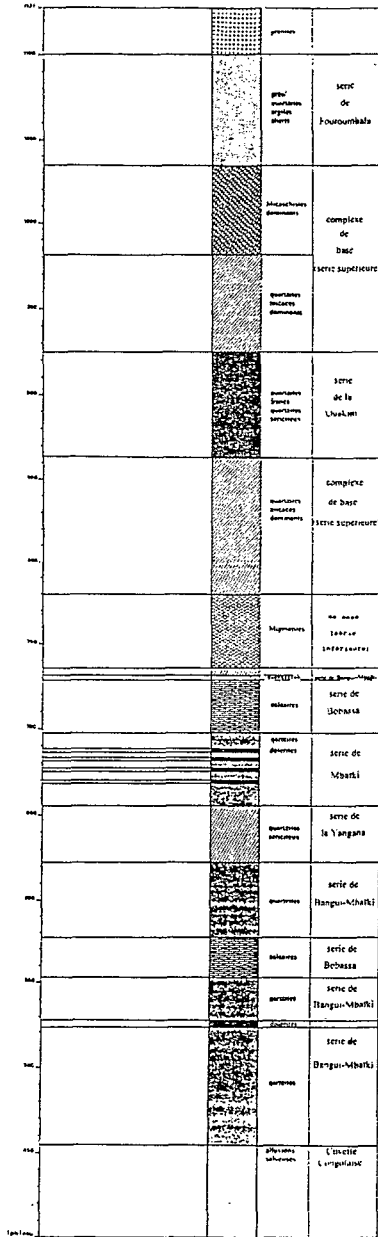


Figure n° 6

Succession des formations géologiques sur lesquelles coule l'Oubangui. Du pk 400 jusqu'à la confluence avec le Congo, l'Oubangui coule sur les formations de la cuvette congolaise.

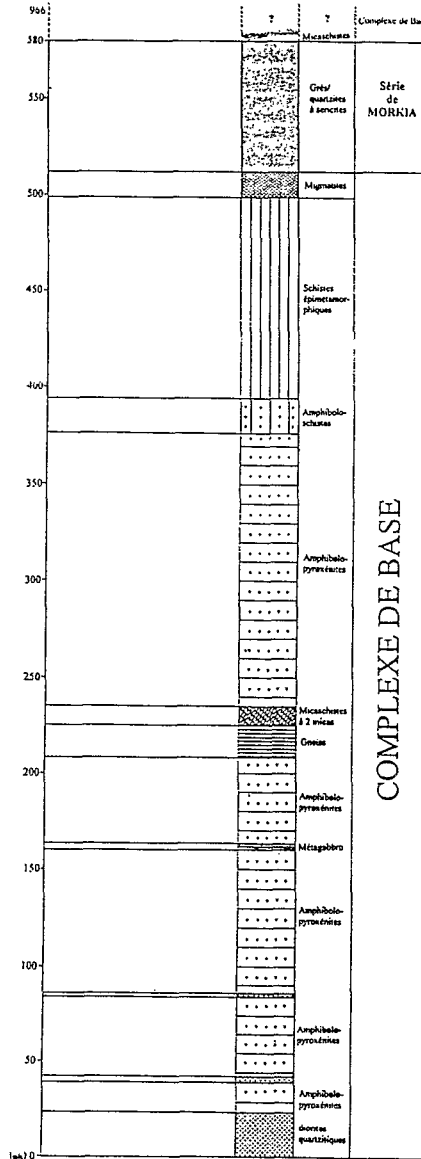


Figure n° 7

Succession des formations géologiques sur lesquelles coule le Mbomou.

Ainsi, contrairement à l'interprétation de GIRESSÉ et al. (1990), les sables du cours inférieur de l'Oubangui ne proviennent pas essentiellement du démantèlement de la Formation de Carnot, mais résultent d'un mélange des sables issus du cours supérieur de l'Oubangui avec ceux apportés par érosion des formations alluviales de la cuvette congolaise par l'Oubangui et par ses tributaires de la plaine équatoriale ; ces derniers apports sont dominants sur ceux des affluents drainant la Formation de Carnot.

L'enrichissement des sables en disthène, hornblende et aussi très légèrement en staurotite et épidote (fig. 3) à partir du moment où l'Oubangui coule sur les formations alluviales de la cuvette congolaise, a également été observé dans la Sangha, affluent du Congo (fig. 1), là où elle érode les formations de la cuvette congolaise (CENSIER, 1994).

Enfin, il convient de noter que l'évolution de certains minéraux n'est pas expliquée, notamment l'augmentation du rutile entre le pk 800 et 700 et d'épidote entre le pk 1000 et 900.

IV. CONCLUSION

L'analyse granulométrique et minéralogique des sables du bassin de l'Oubangui permet de dégager les conclusions suivantes sur l'origine et la dynamique des alluvions de l'Oubangui :

- * l'Oubangui n'a pas, sur la majorité de son cours, la force érosive suffisante pour creuser son lit ;
- * les sables proviennent principalement de l'érosion des formations géologiques du bassin du Mbomou et secondairement du bassin d'Uélé ;
- * les apports de certains affluents sont repérables par les perturbations granulométriques et par les variations minéralogiques qu'ils entraînent au sein de la charge de fond de l'Oubangui. Les principaux apports viennent de la Mpoko, de la Lobaye, des tributaires de la plaine alluviale équatoriale, de l'Ibenga et de la Motaba ; des apports plus faibles viennent de la Kotto et de la Ouaka.
- * les zones du bassin versant de l'Oubangui où les processus d'érosion sont actuellement actifs peuvent être précisées :
- * principalement, le bassin du Mbomou ;
- * secondairement, au niveau du bassin moyen de l'Oubangui, plus particulièrement le bassin de la Mpoko, et le bassin inférieur de l'Oubangui.

BIBLIOGRAPHIE

- Best J.L. - 1988 - Sediment transport and bed morphology at river channel confluence. *Sedimentology*, 35, pp. 481-498
- Bietlot A. - 1940 - Méthodes d'analyses granulométriques. Applications à quelques sables éocènes belges. *Mém. Soc. Géol. de Belgique*, 64, fasc. 2, pp. 79-169.
- Cailleux A. & Tricart J. - 1959 - Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre de Doc. Univers., 3 t.
- Callède J. - sous presse - Monographie de l'Oubangui. Publ. ORSTOM
- Censier C. - 1991 - Dynamique sédimentaire d'un système fluvial diamantifère mésozoïque : la formation de Carnot (République centrafricaine). Éditions du BRGM, Doc. n° 205, 568 p.
- Censier C. - 1994 - Dynamique sédimentaire de la charge de fond sableuse du cours moyen et inférieur de la Sangha (République du Congo). Coll. PEGI, Paris 22-24 Nov 1993.
- Censier C., Malibangar D., Orange D. & Dimbele-Kombe M. - 1993 - Etude sédimentologique et hydrochimique du site salin de Mandza (Préfecture du Haut Mbomou - République centrafricaine). Publ. ORSTOM-Bangui, 65 p.
- De Namur G. - 1990 - Aperçu sur la végétation d'Afrique centrale atlantique. in : Paysages quaternaires de l'Afrique centrale atlantique. R. Lanfranchi & D. Schwartz Edit., Éditions de l'ORSTOM, coll. Didactiques, pp. 60-67
- Dryden L. & Dryden C. - 1946 - Comparative rates of weathering of some common heavy metals. *Journ. Sed. Petrol.*, 16, pp. 91-96.

- Friese F.W. - 1931 - Untersuchung von Mineralen auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung in Wasser. *Min. u. Pet. Mitt.*, 41, new series, pp. 1-7
- Friis H. - 1974 - Weathered heavy-mineral associations from the young Tertiary deposits of Jutland, Denmark. *Sedim. Geol.*, 12, pp. 199-213
- Giresse P., Ouetiningue R., Barusseau J.P. - 1990 - Minéralogie et micro-granulométrie des suspensions et des alluvions du Congo et de l'Oubangui. *Sci. Géol., Bull., Strasbourg*, 43, 2-4, pp. 151-173.
- Hughes R.H. & Hughes J.S. - 1992 - Répertoire des zones humides d'Afrique. UICN, Gland, Suisse et Cambridge, Royaume Uni / PNUE, Nairobi, Kenya / CMSC, Cambridge, Royaume Uni. 808 p.
- Mestraud J.L. - 1982 - Géologie et ressources minérales de la République Centrafricaine. État des connaissances à fin 1963 (avec la collaboration de B. Bessoles). Éditions du BRGM, mém. du BRGM n° 60, 186 p.
- Morton A.C. -1984 - Heavy minerals in provenance studies. In : Provenance of arenites, G.G. Zuffa Ed., NATO ASI series, ser. C, 148, pp. 249-277.
- Parfenoff A., Pomerol C. & Tourenq J. - 1970 - Les minéraux en grains. Méthodes d'étude et de détermination. Masson Ed. (Paris), 578 p.
- Pettijohn F.J. - 1941 - Persistence of heavy minerals and geologic age. *Journ. Geol.*, 49, pp. 610-625.
- Thiel G. A. - 1940 - The relative resistance to abrasion of mineral grains of sand size. *Journ. Sed. Petrol.*, 10, pp. 103-124.
- Thiel G.A. -1945 - Mechanical effects of stream transportation on mineral grains of sand size. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 56, p. 1207