

Caractérisation de processus d'érosion régressive par analyse sédimentologique comparée des sables du chenal et des barres du cours inférieur de l'Oubangui (République Centrafricaine, Congo, Zaïre)

C. CENSIER

Centre Orstom, BP 893 Bangui, République Centrafricaine

Résumé Un échantillonnage des sables du chenal et des barres de l'Oubangui et du chenal du cours inférieur de ses affluents a été réalisé de Bangui à la confluence avec le Congo, soit sur une longueur de 600 km. Tous les échantillons ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et d'une détermination de leur cortège de minéraux lourds. L'ensemble des résultats sédimentologiques, confronté aux données géologiques du bassin versant, permet de préciser la dynamique sédimentaire du cours inférieur de l'Oubangui. Les sables résultent d'un mélange de matériel provenant de l'amont du bassin versant avec des sédiments issus principalement de l'érosion des formations détritiques de la cuvette congolaise par l'Oubangui et, à un degré moindre, par ses affluents. La partie inférieure du bassin versant de l'Oubangui est donc le lieu d'une érosion régressive active. Cette étude permet de préciser l'extension de la néotectonique qui affecte la partie septentrionale de la cuvette congolaise.

Evidence of backward erosion in the lower course of the Oubangui river from a comparative sedimentological analysis of sands from its channel and its bars (Central African Republic, Congo, Zaïre)

Abstract Granulometric and heavy mineral analyses were performed on 220 samples of sand collected in the main channel and on the bars of the Oubangui river between Bangui and the confluence with the Congo River, i.e. along the last 600 km of that river. With these sedimentological results and geological data on the catchment, the sedimentary dynamics of the lower course of the Oubangui river can be specified. The samples correspond to the association of detrital material from the upper part of the catchment with sand primarily from the erosion of the Congolese basin formations and secondarily from the tributaries. The lower part of the catchment of the Oubangui river is an area where backward erosive processes are presently active. The extent of the neotectonics affecting the northern part of the Congolese basin can be inferred.

INTRODUCTION

Avec une longueur totale de 2297 km, en y incluant la Uélé, son cours supérieur, et avec un bassin versant de 643 900 km², l'Oubangui est, après le Kasai, le second principal affluent du fleuve Congo (Fig. 1).

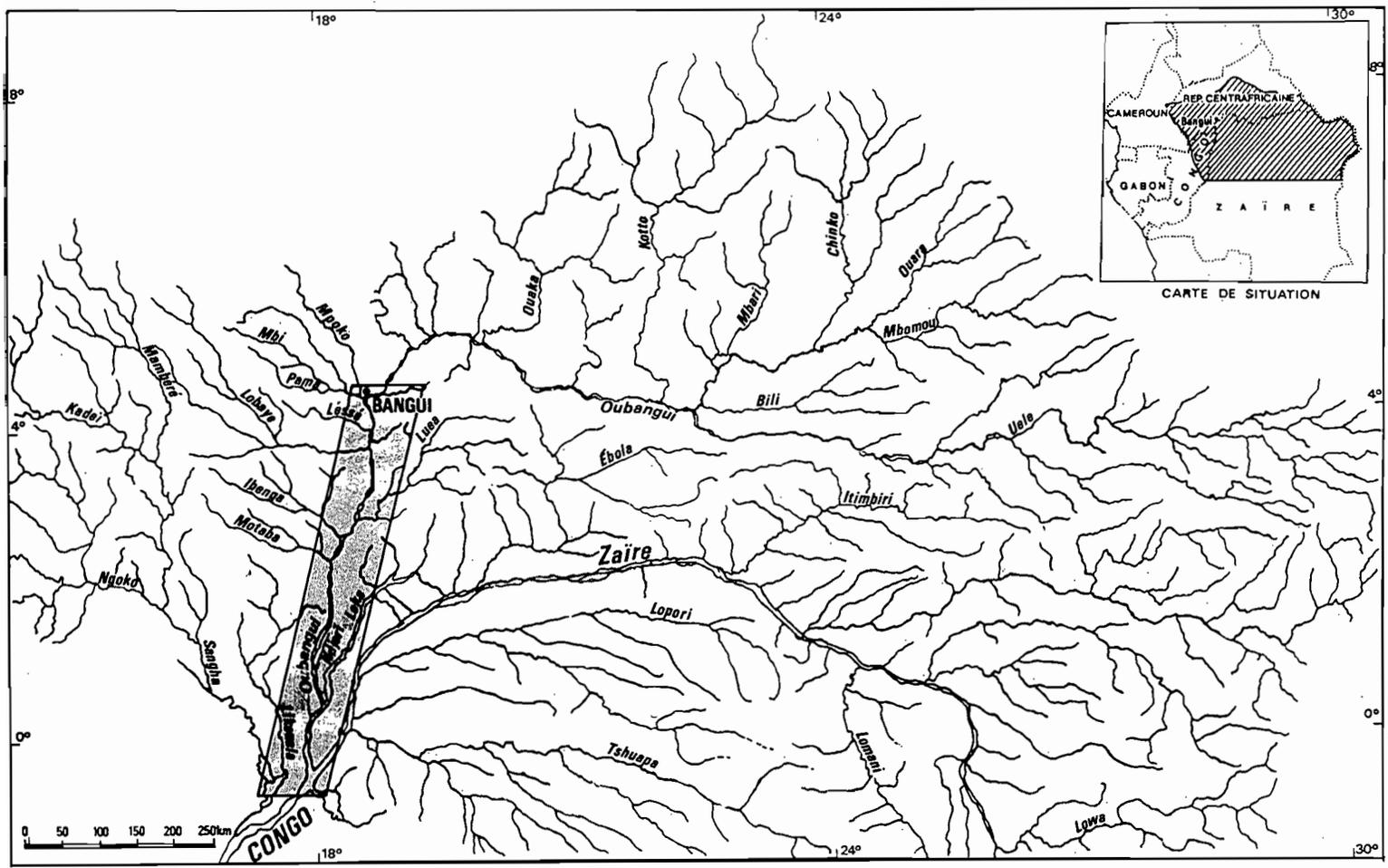


Fig. 1 Partie septentrionale du bassin du Congo et délimitation de la zone d'étude. (La zone d'étude est indiquée en grisé.)

La caractéristique sédimentologique de l'Oubangui est la grande quantité de sable qui obstrue tout son cours limitant ainsi les possibilités de navigation durant la période des moyennes et des basses eaux. C'est cette abondance de sable qui conditionne la morphologie du cours de l'Oubangui: excepté sur une longueur de 200 km en amont de Bangui où le chenal est unique, avec seulement quelques barres latérales, l'Oubangui est un cours d'eau à chenaux anastomosés avec des barres et des îles sableuses, par endroits, bien développées.

De la source de la Uélé jusqu'à 450 km de la confluence avec le Congo, l'Oubangui coule sur des formations précambriennes qui, de l'amont vers l'aval, sont à dominante cristalline et cristallophyllienne, puis à dominante quartzitique à partir du point kilométrique 1100. Ce n'est que sur les 450 derniers kilomètres que l'Oubangui coule sur les formations sableuses holocènes de la cuvette congolaise (Figs 2 et 3).

Dans la mesure où tout le cours de l'Oubangui contient des alluvions sableuses, la détermination de l'origine et de la dynamique de ces sédiments apportera des indications sur l'évolution de la charge de fond de cette rivière.

L'étude de la dynamique de la charge de fond d'une rivière est certes plus la préoccupation des sédimentologues, géomorphologues et ingénieurs hydrauliciens que des hydrologues et des hydrochimistes. Cependant, bien que la charge de fond ne représente qu'une partie très réduite (-1%) du débit solide d'une rivière pérenne à fort module annuel (Reid & Frostick, 1994), l'étude de ses caractéristiques sédimentologiques et pétrographiques peut apporter d'utiles indications sur l'origine des sédiments (Van Andel, 1950; Brossé, 1982; Potter & Franzinelli, 1985; Tourenq, 1986; Amajor, 1989; Censier & Olivry, 1995), le cadre tectonique et l'influence de l'altération climatique au niveau du bassin versant (Mack, 1981; Suttner *et al.*, 1981; Basu, 1985; Grantham & Velbel, 1988; Johnsson, 1990; Censier, 1995) et la dynamique sédimentaire d'une rivière (Visher, 1969; Davies *et al.*, 1978; Friedman, 1979; McCarthy *et al.*, 1991; Nakamura *et al.*, 1995; Censier *et al.*, 1995). Une meilleure connaissance des facteurs agissant au niveau d'un bassin versant permet de mieux circonscrire l'origine des sédiments (charge de fond et matières en suspension) et, ainsi, d'évaluer les débits solides spécifiques et le taux d'érosion par sous-bassins versants et non pas seulement à la seule échelle du bassin versant.

La présente étude repose sur une analyse sédimentologique des sables du cours inférieur de l'Oubangui, de Bangui à la confluence du Congo, soit une longueur de 600 km (Fig. 1).

ECHANTILLONNAGE ET METHODE D'ETUDE

Echantillonnage

Deux cent et vingt échantillons de sable ont été prélevés dans l'Oubangui, de Bangui jusqu'à la confluence avec le Congo:

- Soixante-une échantillons ont été prélevés dans le chenal principal, entre le 30 novembre et le 3 décembre 1992, c'est à dire à la fin de la crue. Les prélèvements ont été effectués systématiquement tous les 10 km à l'aide de deux dragues cylindriques superposées, système qui piège mieux les fractions fines que les cônes dits de Berthois (1974).

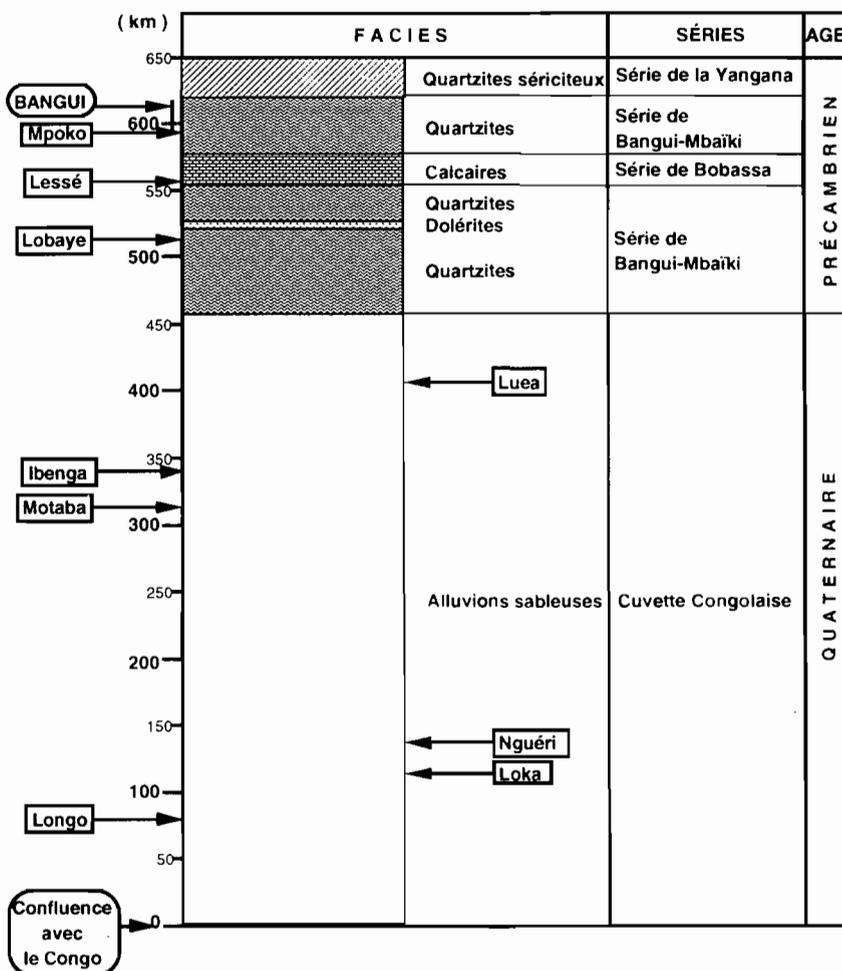


Fig. 3 Succession des formations géologiques constituant le bedrock de l'Oubangui de Bangui (pk 600) à la confluence avec le Congo (pk 0).

— Cent cinquante neuf échantillons ont été prélevés au niveau des barres sableuses durant les mois de février et de mars de 1991 et 1992, c'est à dire aux basses eaux. L'espace entre les prélèvements a varié de 3 à 5 km; il a été fonction du nombre et de la disposition des barres. Les prélèvements ont été effectués 30 à 50 cm au dessus du niveau de l'eau, ce qui permet de considérer que tous les sables échantillonnés résultent d'une dynamique de dépôt à peu près identique.

Ces deux types et périodes de prélèvement permettent de suivre l'évolution de la dynamique sédimentaire des sables du cours inférieur de l'Oubangui au cours de l'année hydrologique: durant la décrue, les sables se déposent au niveau des barres (Feizouré *et al.*, 1995); au maximum de la crue, les sables transportés dans le chenal sont ceux remobilisés durant la montée des eaux.

Enfin, tous les affluents de l'Oubangui de Bangui à la confluence avec le Congo ont été échantillonnés sur les derniers kilomètres de leur cours inférieur à l'aide de dragues

cylindriques. Au total, 33 échantillons ont été prélevés dans huit des neuf principaux affluents, le cours inférieur de la Nguéri ne contenant que de la matière organique.

Analyse sédimentologique

Tous les échantillons de sable ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et d'une détermination de leur cortège des minéraux lourds.

Les paramètres granulométriques

Le tamisage des sables a été effectué avec des tamis de la série Afnor dont les vides maille sont en progression géométrique de raison 1,259 ($[10]^{1/10}$). Les paramètres granulométriques retenus sont:

(a) le premier quartile ($Q1$), la médiane (MD), le troisième quartile ($Q3$);

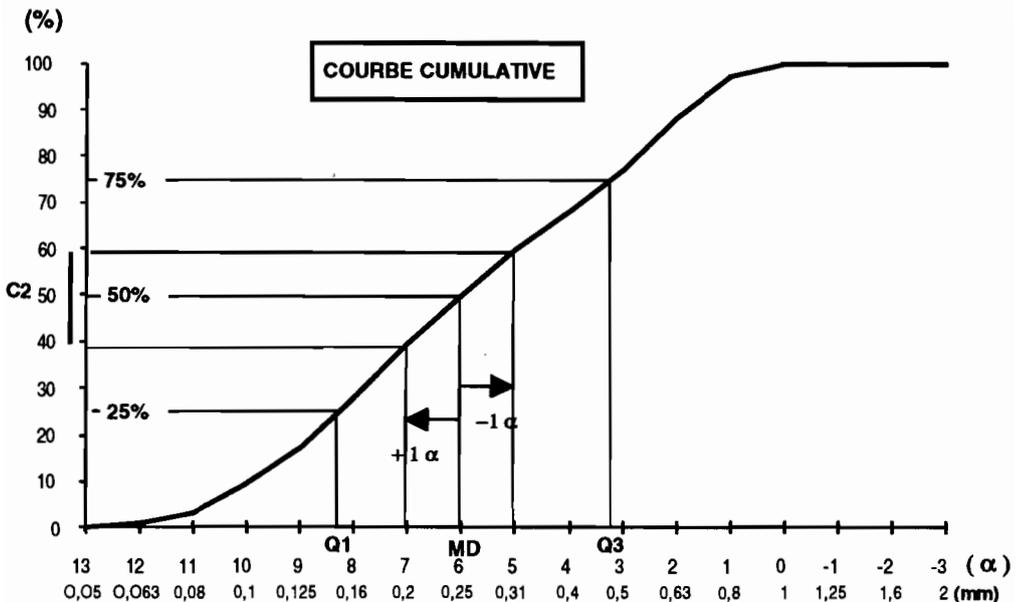


Fig. 4 Signification et principe de calcul des paramètres granulométriques. En utilisant le cologarithme des valeurs en millimètres, on définit une échelle en progression arithmétique dont la raison est -1 (échelle α): ou

$$\alpha = -\frac{10 \ln(\text{en mm})}{\ln 10}$$

$Q1$: 25% des grains sont plus fins et 75% plus grossiers que le $Q1$; MD : 50% des grains sont plus fins et 50% plus grossiers que la médiane; $Q3$: 75% des grains sont plus fins et 25% plus grossiers que le $Q1$; $C2$: % pour $(MD - 1 \alpha) - \%$ pour $(MD + 1 \alpha)$. Tout revient à considérer une nouvelle série de tamis AFNOR dont les vides de maille d'un tamis correspondent à la taille de la médiane; $C2$ est donc le pourcentage de sable contenu dans ce tamis et celui du tamis immédiatement plus petit; plus $C2$ est élevé, meilleur est le classement du sable.

(b) l'indice de Bietlot-Afnor (C2). C'est un indice de classement défini par Bietlot (1940), mais qui a été calculé en tenant compte de la progression géométrique des tamis de la série Afnor (Censier, 1991).

La signification et le principe de calcul de ces paramètres sont résumés dans la Fig. 4.

Méthode d'étude des minéraux lourds

Les minéraux lourds ($d > 2,89$) ont été déterminés dans la fraction granulométrique 80-160 μm ; il a été montré que cette fraction contient toutes les espèces minérales de l'échantillon (Parfenoff *et al.*, 1970). Le cortège des minéraux lourds transparents de chaque échantillon a été établi par comptage des grains. Les résultats sont donc exprimés en pourcentage de grains comptés.

ANALYSE SEDIMENTOLOGIQUE COMPAREE DES SABLES DE L'OUBANGUI EN AVAL DE BANGUI

Analyse granulométrique

L'évolution de la granulométrie des sables du chenal et des barres de l'Oubangui est résumée dans la Fig. 5.

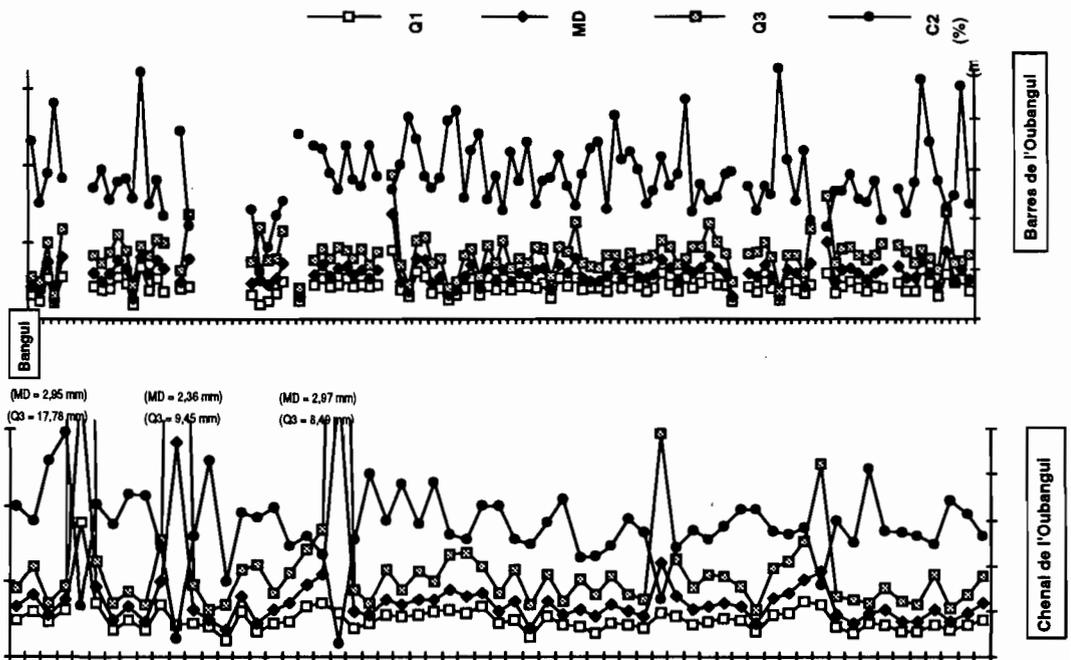


Fig. 5 Evolution de la granulométrie et du classement des sables du chenal et des barres de l'Oubangui de Bangui à la confluence avec le Congo.

De Bangui au pk 400, la granulométrie et le classement des sables du chenal évoluent en dents de scie. Il n'y a pas d'évolution granulométrique franche; les sables ont tendance à être de moins en moins bien classés entre le pk 500 et 400. Cette évolution ne peut être expliquée en admettant seulement des apports par les affluents étant donné qu'elle est constatée sur le secteur compris entre le pk 500 et le pk 400 où l'Oubangui n'a pas d'affluent (Fig. 3).

De Bangui au pk 435, les sables des barres de l'Oubangui deviennent globalement moins bien classés et ont une granulométrie qui évolue irrégulièrement.

Les sables du chenal, en aval du pk 380 et les sables des barres, en aval du pk 420, présentent la même évolution granulométrique:

- Les sables sont en très peu de kilomètres mieux classés (du pk 400 au pk 380 pour les sables du chenal; du pk 435 au pk 425 pour ceux des barres); l'indice de Bietlot-Afnor passe de 20-25% à 35-45%. On peut noter que cette brusque variation du classement intervient au passage de l'Oubangui sur les formations sableuses de la cuvette congolaise. La limite entre ces formations et les quartzites précambriens a été cartographiée vers le pk 455 (Gérard, 1958; Unesco, 1987) (Figs 2 et 3); la variation se manifeste d'abord dans les sables des barres, vers le pk 425, puis dans ceux du chenal, vers le pk 380.
- Jusqu'à la confluence avec le Congo, les sables du chenal et des barres sont alors globalement de moins en moins bien classés (diminution de l'indice de Bietlot-Afnor) alors que leur granulométrie n'évolue pratiquement pas; les sables des barres sont fins alors que ceux du chenal sont moyens.
- Sur les 100 derniers kilomètres du cours de l'Oubangui, les deux types de sables sont légèrement plus fins.

Ainsi, de Bangui à la confluence avec le Congo, la même évolution granulométrique est constatée pour les sables du chenal et des barres de l'Oubangui. Le fait que les sables du chenal soient en moyenne plus grossiers que ceux des barres s'explique par la différence d'hydrodynamisme au moment de leur dépôt respectif.

Quelques variations brusques mais fugaces de la granulométrie et du classement de quelques échantillons de sable sont probablement la traduction d'apports par les affluents. Best (1988) a montré que l'évolution des apports par les affluents dans le cours du collecteur dépend de l'angle de confluence et du rapport de déversement entre l'affluent et le collecteur: plus l'angle et le rapport augmentent, plus les apports sont rejetés du centre de la confluence et du chenal du collecteur. Ainsi, les apports de la Mpoko et de la Lobaye, affluents qui forment un grand angle de confluence avec l'Oubangui, ne sont repérables qu'au niveau des barres latérales, alors que les apports de la Luea, de la Loka et de la Longo, affluents qui forment un faible angle de confluence avec l'Oubangui, sont perceptibles dans le chenal de l'Oubangui. Toutefois, la fugacité des perturbations granulométriques, aussi bien au niveau des sables du chenal que des barres, démontre que ces apports ainsi mis en évidence sont faibles par rapport à la charge de fond transportée par l'Oubangui.

Evolution du cortège minéralogique

De Bangui à la confluence avec le Congo, les sables du chenal et des barres de l'Oubangui contiennent la même association de minéraux lourds (Fig. 6). Par ordre

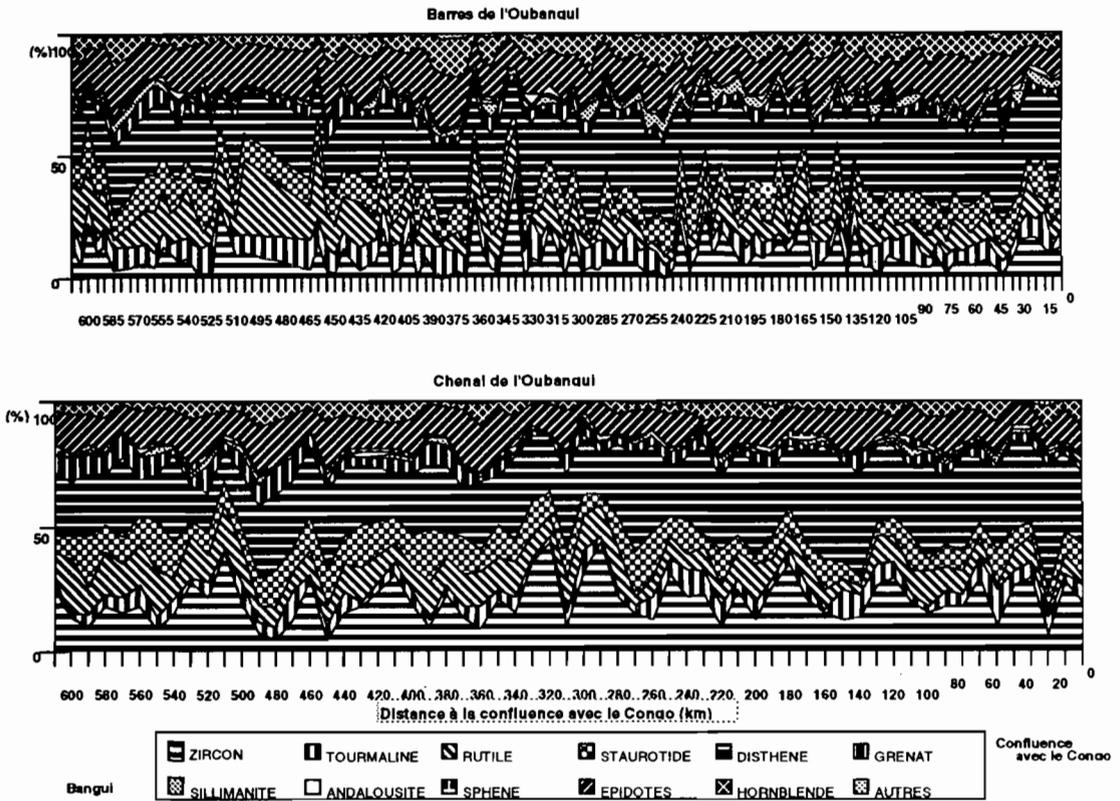


Fig. 6 Evolution du cortège minéralogique des sables du chenal et des barres de l'Oubangui de Bangui à la confluence avec le Congo.

décroissant d'importance, on distingue:

- les minéraux peu abondants (de 10 à 30%): le disthène, les épidotes, le zircon, la staurotide, le rutile;
- les minéraux rares (de 1 à 10%): la tourmaline, la hornblende, le grenat, la sillimanite, le sphène et l'andalousite;
- les minéraux décelés (< 1%): l'augite, l'hypersthène, la monazite, le corindon, l'anatase; ces minéraux n'ont pas été pris en compte.

Les différences quantitatives observées entre les barres et le chenal sont liées à la densité des minéraux lourds:

- la hornblende, les épidotes, la sillimanite, la tourmaline et l'andalousite, de densité inférieure à 3,5 sont plus abondantes au niveau des barres;
- le zircon, le rutile (sauf entre le pk 500 et 400) et le grenat, de densité supérieure à 4, sont plus abondants au niveau du chenal;
- le disthène, la staurotide et le sphène, de densité comprise entre 3,5 et 4, sont présents en quantité équivalente dans le chenal et au niveau des barres.

Dans la mesure où tous ces minéraux appartiennent à la même fraction granulométrique, leur répartition en fonction de leur densité traduit la différence d'hydrodynamisme au moment du dépôt des sables: le chenal, où l'hydrodynamisme est

élevé, transporte et concentre davantage les minéraux denses; au niveau des barres, où l'hydrodynamisme est variable et s'annule à leur émergence, les minéraux denses sont relativement moins concentrés au détriment des minéraux moins denses.

L'évolution quantitative des différents minéraux lourds de l'amont vers l'aval a été appréhendée à partir de l'examen des cortèges minéralogiques moyens établis par secteur de 100 km de longueur (Fig. 7).

A l'exception de la tourmaline et du zircon, tous les autres minéraux lourds évoluent de façon similaire au niveau des barres et dans le chenal:

- enrichissement net et progressif en disthène;
- très légère augmentation en horblende et sillimanite, plus sensible au niveau des barres que dans le chenal;
- nette diminution de la quantité de rutile, mais de façon très irrégulière au niveau des barres;
- très légère diminution en épidotes (irrégulière au niveau des barres), en grenat (plus sensible dans le chenal) et en staurotide (dont une augmentation au niveau des 100 derniers kilomètres de l'Oubangui est sensible dans le chenal);
- au niveau des barres, la quantité de zircon évolue en dents de scie, mais globalement diminue très faiblement, tandis que, dans le chenal, celle-ci augmente sensiblement entre le pk 400 et pk 300, puis reste quasiment constante jusqu'à la confluence;
- la quantité de tourmaline diminue très légèrement et irrégulièrement au niveau des barres alors que dans le chenal, la très légère diminution est entrecoupée d'une brusque augmentation au passage du secteur compris entre le pk 300 et le pk 200.

De ce fait, dans le chenal, les quantités de zircon et de tourmaline sont globalement plus élevées à la confluence qu'à l'amont, alors que c'est l'inverse au niveau des barres.

Les cortèges minéralogiques du cours inférieur des affluents de l'Oubangui sont donnés dans la Fig. 8. Le fait remarquable est que les sables de ces affluents contiennent les mêmes espèces minérales que celles rencontrées dans l'Oubangui. Cependant, certains affluents se distinguent par un pourcentage élevé d'un minéral par rapport à celui observé dans l'Oubangui: la Mpoko est riche en staurotide, la Lessé en rutile, et la Lobaye, l'Ibenga et la Luea en zircon.

C'est cette caractéristique qui permet de préciser l'importance des apports des affluents dans l'Oubangui. En tenant compte de l'angle de confluence, on constate que des perturbations du cortège minéralogique apparaissent en aval de la confluence avec la Lobaye au niveau des barres et en aval de la confluence avec l'Ibenga et la Luea dans les sables du chenal (Fig. 6). Cependant, la fugacité des perturbations minéralogiques démontre que les apports ainsi mis en évidence sont faibles par rapport à la charge de fond transportée par l'Oubangui.

DYNAMIQUE SEDIMENTAIRE DE L'OUBANGUI EN AVAL DE BANGUI

Censier & Olivry (1995) ont montré que les sables véhiculés par l'Oubangui proviennent essentiellement des deux tributaires supérieurs, le Mbomou et la Uélé, avec un apport principal par érosion des formations géologiques du bassin du Mbomou.

Les apports par certains affluents en aval de Bangui ont été mis en évidence grâce aux perturbations granulométriques et/ou minéralogiques qu'ils entraînent dans les sables du chenal et des barres de l'Oubangui. Cependant, la fugacité de ces perturbations

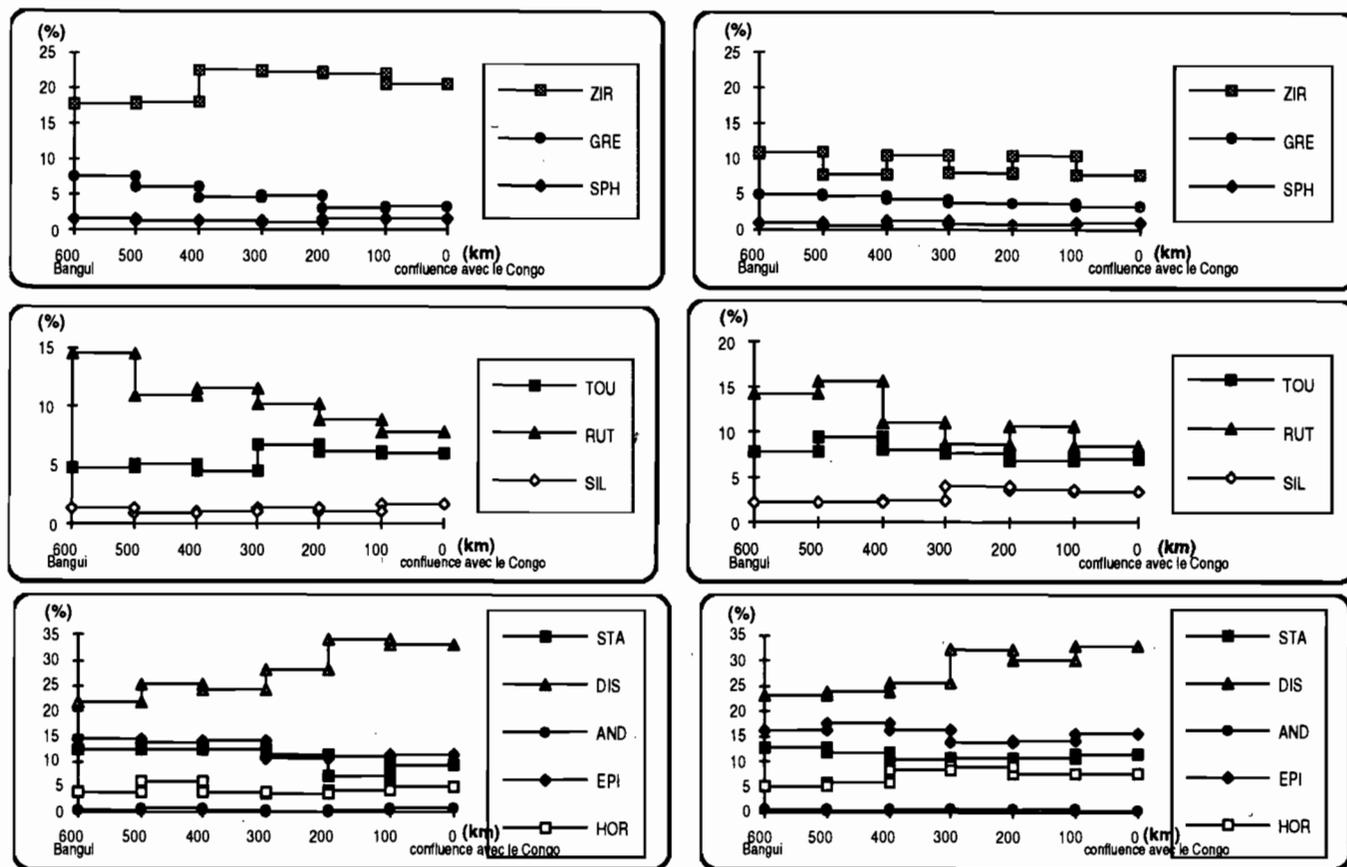


Fig. 7 Evolution des pourcentages moyens des différents minéraux lourds des sables du chenal et des barres de l'Oubangui de Bangui à la confluence avec le Congo. Les pourcentages moyens des différents minéraux lourds ont été calculés par secteur de 100 km de longueur.

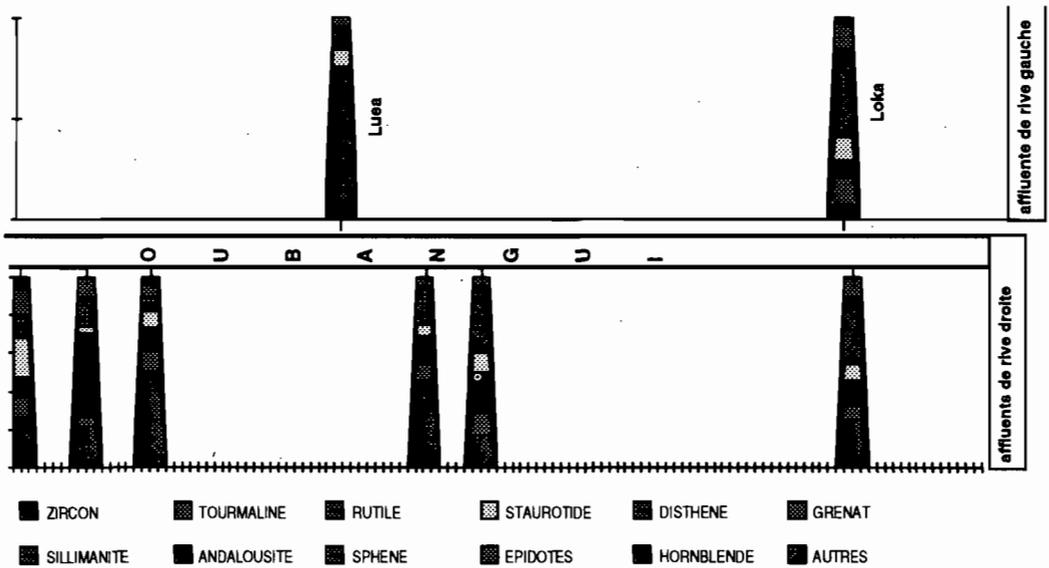


Fig. 8 Cortèges minéralogiques moyens du cours inférieur des différents affluents de l'Oubangui de Bangui à la confluence avec le Congo.

observées à l'aval de la confluence avec la Mpoko, la Lobaye, l'Ibenga, la Longo, la Luea et la Loka indique que les apports sont faibles par rapport à la charge de fond sableuse transportée par l'Oubangui: l'évolution granulométrique et minéralogique des sables de l'Oubangui en aval de Bangui est donc pour l'essentiel liée à des processus intervenant au niveau du cours de cette rivière.

Selon la loi de Sternberg (1875), les éléments transportés par un cours d'eau sont progressivement de plus en plus fins et tendent à être de mieux en mieux classés. L'évolution granulométrique des sables des barres et du chenal de l'Oubangui contredit cette loi dans la mesure où, de l'amont vers l'aval, les éléments sont de moins en moins bien classés alors que, globalement, leur taille varie peu. Cette évolution démontre que ce n'est pas le même stock de sable qui est transporté sur tout le long du cours inférieur de l'Oubangui. Cette approche granulométrique démontre qu'il y a des apports, qui d'ailleurs sont plus ou moins réguliers étant donné la relative régularité des variations granulométriques.

A partir des échelles de résistance mécanique à l'abrasion (Friese, 1931; Thiel, 1940, 1945) et de résistance chimique à l'altération (Pettijohn, 1941; Dryden & Dryden, 1946; Cailleux & Tricart, 1959; Friis, 1974; Morton, 1985, Morton & Hallsworth, 1994), les minéraux lourds des sables de l'Oubangui peuvent être classés en:

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

En corollaire de la loi de Sternberg, les cortèges minéralogiques des sables d'une rivière vont de l'amont vers l'aval s'appauvrir en minéraux peu résistants et relativement s'enrichir en minéraux résistants.

De ce fait, les augmentations des pourcentages en disthène et hornblende sur tout le long des 600 derniers kilomètres de l'Oubangui, en staurotide et en épidotes sur les 100 derniers kilomètres traduisent des apports en matériel détritique contenant ces différents minéraux.

L'évolution granulométrique et minéralogique des sables du cours inférieur de l'Oubangui s'explique en admettant des apports par érosion des formations sableuses de la cuvette congolaise par l'Oubangui lui-même et, pour une très faible part, par ses affluents de la plaine équatoriale: la Longo et la Loka qui s'écoulent entièrement sur les formations de la cuvette congolaise sont plus riches en disthène, staurotide, épidotes et hornblende que les autres affluents. L'enrichissement en ces minéraux a d'ailleurs été constaté dans les sables de la Sangha (Fig. 2) au niveau des secteurs où cette rivière érode les formations de la cuvette congolaise (Censier, 1995).

Schumm (1961) a montré qu'il existe une relation inverse entre le pourcentage de silts et d'argiles au niveau des berges et la largeur du cours d'eau. La faible cohésion des formations de la cuvette congolaise et la largeur moyenne de l'ordre de 1 à 2 km du cours inférieur de l'Oubangui témoignent probablement d'apports par érosion des berges.

Cependant, la faible pente moyenne de l'Oubangui en aval de Bangui, $0,06 \text{ m km}^{-1}$ (Callède, sous presse), et la présence de la forêt ombrophile inondée et de la forêt dense humide sempervirante (De Namur, 1990) sont des facteurs qui limitent l'érosion des berges.

Malgré la faible augmentation du module annuel et du débit moyen de crue entre Bangui et la confluence avec le Congo, respectivement de $4153 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à $5800 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ et de $9260 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ à $15\,600 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Mott McDonald International *et al.*, 1992), par rapport à l'augmentation de la largeur du cours d'eau, la compétence de l'Oubangui ne diminue pas contrairement à ce qui est classiquement observé à l'aval des cours d'eau à chenaux anastomosés (Bluck, 1964; Smith, 1974) et des fleuves à chenal unique (Mississippi River Commission, 1935). La partie inférieure du bassin versant de l'Oubangui est donc le lieu d'une érosion régressive active qui se traduit essentiellement par une reprise de l'érosion des formations sableuses de la cuvette congolaise.

CONCLUSION

L'analyse granulométrique et minéralogique des sables du chenal et des barres de l'Oubangui en aval de Bangui permet de préciser la dynamique sédimentaire du bassin inférieur de l'Oubangui.

Les sables correspondent pour l'essentiel aux sables issus de l'amont du bassin versant auxquels s'ajoutent des sables issus principalement de l'érosion des formations sableuses de la cuvette congolaise par l'Oubangui et, à un degré moindre, par ses affluents.

Contrairement à l'interprétation de Giresse *et al.* (1990), les sables du cours inférieur de l'Oubangui ne proviennent pas de l'érosion de la formation de Carnot, formation grés-conglomératique crétacée située dans le sud-ouest de la République Centrafricaine (Fig. 2). Ni la formation de Carnot (Censier, 1991), ni les affluents en dérivant (Lobaye, Ibenga et Motaba) ne contiennent des pourcentages en hornblende et

épidotes suffisants pour expliquer ceux observés dans les sables de l'Oubangui en aval des trois confluences.

L'érosion régressive ainsi mise en évidence au niveau du bassin inférieur de l'Oubangui a pour origine probable une rupture récente du profil d'équilibre de l'Oubangui. Cette étude permet ainsi de préciser l'extension de la néotectonique qui affecte la partie septentrionale de la cuvette congolaise et qui, en dehors du bassin de l'Oubangui, est à l'origine de l'érosion des formations de la cuvette congolaise par la Sangha (Censier, 1995) et de la dérive occidentale de la confluence entre la Sangha et la Likouala aux herbes (Censier *et al.*, 1995).

Remerciements Cette étude a été réalisée dans le cadre du Programme d'Etude de l'Environnement de la Géosphère Intertropicale (PEGI), opérations Grands Bassins Fluviaux (GBF), programme INSU-Orstom-CNRS.

REFERENCES

- Amajor, L. C. (1989) Grain size characteristics and geologic controls on bedload sediments: a case study from the Imo River in southeastern Nigeria. *J. Afr. Earth Sci.* 9(3/4), 507-515.
- Basu, A. (1985) Influence of climate and relief on compositions of sands released at source areas. In: *Provenance of Arenites* (ed. par G. G. Zuffa), 1-18. NATO ASI Series, ser. C, no. 148.
- Berthois, L. (1974) *Etude sédimentologique des roches meubles*. Doin, Paris.
- Bietlot, A. (1940) Méthodes d'analyses granulométriques. Applications à quelques sables éocènes belges. *Mém. Soc. Géol. Belgique* 64(2), 79-169.
- Best, J. L. (1988) Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology* 35, 481-498.
- Bluck, B. J. (1964) Sedimentation of an alluvial fan in southern Nevada. *J. Sed. Petrol.* 34, 395-400.
- Brossé, R. (1982) Les processus sédimentaires dans le fleuve Loire. Thèse, UER Sci. et Techn., Univ. Angers, France.
- Cailleux, A. & Tricart, J. (1959) *Initiation à l'étude des sables et des galets*. Centre de Doc. Univ., Paris.
- Callède, J. (sous presse) *Monographie de l'Oubangui*. Orstom, Paris.
- Censier, C. (1991) *Dynamique sédimentaire d'un système fluvial diamantifère mésozoïque: la formation de Carnot (République centrafricaine)*. BRGM, Orléans, France, Doc. no. 205.
- Censier, C. (1995) Dynamique sédimentaire de la charge de fond sableuse du cours moyen et inférieur de la Sangha (République du Congo). In: *Grands bassins fluviaux périallantiques: Congo, Niger, Amazone* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue), 229-238. Collection Coll. & Sémin., Orstom, Paris.
- Censier, C. & Olivry, J. C. (1995) Distribution de la granulométrie et de la minéralogie de la charge de fond sableuse du bassin de l'Oubangui (République Centrafricaine, République du Congo): implications sur l'origine et la dynamique sédimentaire des alluvions de l'Oubangui. In: *Grands bassins fluviaux périallantiques: Congo, Niger, Amazone* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue), 159-170. Collection Coll. & Sémin., Orstom, Paris.
- Censier, C., Pouyaud, B., Laraque, A. & Maziezoula, B. (1995) Dynamique actuelle des sables de la Likouala aux Herbes: implications sur la paléohydrographie du bassin inférieur de la Sangha (République du Congo). In: *Grands bassins fluviaux périallantiques: Congo, Niger, Amazone* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue), 239-250. Collection Coll. & Sémin., Orstom, Paris.
- Davies, D. K., Vessel, R. K., Miles, R. C., Foley, M. G. & Bonis, S. B. (1978) Fluvial transport and downstream sediment modifications in an active volcanic region. In: *Fluvial Sedimentology* (ed. par A. D. Miall), 61-84. CSPG Mem. 5, Calgary.
- De Namur, G. (1990) Aperçu sur la végétation d'Afrique centrale atlantique. In: *Paysages quaternaires de l'Afrique Centrale atlantique* (ed. par R. Lanfranchi & D. Schwartz), 60-67. Orstom, Coll. Didactiques, Paris.
- Dryden, L. & Dryden, C. (1946) Comparative rates of weathering of some common heavy minerals. *J. Sed. Petrol.* 16, 91-96.
- Feizouré, C., Censier, C., Lang, J. & Olivry, J. C. (1995) Evolution interannuelle de la dynamique sédimentaire d'un fleuve de régime tropical humide: la barre sableuse de Pama sur l'Oubangui (République Centrafricaine). In: *Grands bassins fluviaux périallantiques: Congo, Niger, Amazone* (ed. par J. C. Olivry & J. Boulègue), 171-180. Collection Coll. & Sémin., Orstom, Paris.
- Friedman, G. M. (1979) Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origin. *Sedimentology* 26, 3-32.

- Friese, F. W. (1931) Untersuchung von Mineralen auf Abnutzbarkeit bei Verfrachtung in Wasser. *Min. Pet. Mitt.* **41** (new series), 1-7.
- Friis, H. (1974) Weathered heavy-mineral associations from the young Tertiary deposits of Jutland, Denmark. *Sed. Geol.* **12**, 199-213.
- Gérard, G. (1958) *Carte géologique de l'Afrique Equatoriale Française à l'échelle du 1/200 000, avec notice explicative*. Publ. Dir. Mines et Géol., Brazzaville.
- Girèsse, 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), 151-173.
- Grantham, J. H. & Velbel, M. A. (1988) The influence of climate and topography on rock-fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. *J. Sed. Petrol.* **58**(2), 219-227.
- Johnsson, M. J. (1990) Tectonic versus chemical-weathering controls on the composition of fluvial sands in tropical environments. *Sedimentology* **37**, 713-726.
- Mack, G. H. (1981) Composition of modern stream sand in a humid climate derived from a low grade metamorphic and sedimentary foreland fold-thrust belt of North Georgia. *J. Sed. Petrol.* **51**, 1247-1258.
- McCarthy, T. S., Stanistreet, I. G. & Cairncross, B. (1991) The sedimentary dynamics of active fluvial channels on the Okavango fan, Botswana. *Sedimentology* **38**, 471-487.
- Mississippi River Commission (1935) Studies of river bed materials and their movement with special reference to the lower Mississippi River. *United States Waterways Experiment Station Paper 17*.
- Morton, A. C. (1985) Heavy minerals in provenance studies. In: *Provenance of Arenites* (ed. par G. G. Zuffa), 249-277. NATO ASI series, ser. C, no. 148.
- Morton, A. C. & Hallsworth, C. (1994) Identifying provenance-specific features of detrital heavy mineral assemblages in sandstones. *Sed. Geol.* **90**, 241-256.
- Mott McDonald International, BCEOM, Orstom & Sogreah (1992) *Evaluation hydrologique de l'Afrique Sub-Saharienne - Rapport de pays: Centrafrique*. Programme « Water Assessment », Banque Mondiale, PNUD, BAD, FAC.
- Nakamura, F., Maita, H. & Araya, T. (1995) Sediment routing analyses based on chronological changes in hillslope and riverbed morphologies. *Earth Surf. Processes and Landforms* **20**, 333-346.
- Parfenoff, A., Pomerol, C. & Tourenq, J. (1970) *Les Minéraux en grains. Méthodes d'étude et de détermination*. Masson, Paris.
- Pettijohn, F. J. (1941) Persistence of heavy minerals and geologic age. *J. Geol.* **49**, 610-625.
- Potter, P. E. & Franzinelli, E. (1985) Fraction analyses of modern river sand of Rios Negro and Solimoes, Brazil, implications for the origin of quartz-rich sandstones. *Rev. Brasil. Geociências* **15**, 31-35.
- Reid, I. & Frostick, L. E. (1994) Fluvial sediment transport and deposition. In: *Sediment Transport and Depositional Processes* (ed. par K. Pye), 89-155. Blackwell Scientific Publications.
- Schumm, S. A. (1961) Effects of sediment characteristics on erosion and deposition in ephemeral-stream channels. *USGS Prof. Pap.* **352-C**.
- Smith, N. D. (1974) Sedimentology and bar formation in the Upper Kicking Horse River, a braided outwash stream. *J. Geol.* **82**, 205-223.
- Sternberg, H. (1875) Untersuchungen über Langen und Querprofil gerschiebeführende Flüsse. *Z. Bauwesen* **25**, 483-506.
- Suttner, L. J., Basu, A. & Mack, G. H. (1981) Climate and the origin of quartz arenites. *J. Sed. Petrol.* **51**, 1235-1246.
- Thiel, G. A. (1940) The relative resistance to abrasion of mineral grains of sand size. *J. Sed. Petrol.* **10**, 103-124.
- Thiel, G. A. (1945) Mechanical effects of stream transportation on mineral grains of sand size. *Geol. Soc. Am. Bull.* **56**, 1207.
- Tourenq, J. (1986) *Etude sédimentologique des alluvions de la Loire et de l'Allier, des sources au confluent. Les minéraux lourds des roches des bassins versants*. Doc no. 108, BRGM, Orléans, France.
- UNESCO (1987) *Carte géologique de l'Afrique au 1/5 000 000 en 6 feuilles*. Commission pour la Carte Géologique du Monde (CGMW/UNESCO).
- Van Andel, T. J. H. (1950) Provenance, transport and deposition of Rhine sediments. Wageningen H. Veenman en Zoner, (PhD Dissertation), Univ. Washington, USA.
- Visher, G. S. (1969) Grain size distributions and depositional processes. *J. Sed. Petrol.* **39**, 1074-1106.