

Etude des mécanismes de la sédimentation vaseuse en milieu fluvial

Le Geer inférieur

par S. ALEXANDRE-PYRE et F. PETIT

Laboratoire de Géographie physique, Climatologie et Hydrologie.

Le Geer et ses affluents s'inscrivent dans le substrat crayeux du secondaire supérieur, lui-même recouvert de loess quaternaire. Le remaniement des quelques affleurements de l'Oligocène dans le cours supérieur et des poches de dissolution de la craie fournit la faible part sableuse des alluvions.

La rivière présente les caractères propres aux cours d'eau de Moyenne-Belgique (pente longitudinale peu marquée, charge principalement limoneuse, tracé à méandres, débits peu contrastés sauf en cas d'orages ou de brusques fontes de neige). Les vitesses moyennes d'écoulement sont généralement faibles, sauf en quelques sites privilégiés (voir ci-dessous).

Les déversements d'origine anthropique ont entraîné une détérioration importante des conditions naturelles : en effet, un apport de matière organique, pouvant atteindre des valeurs de 30 % du poids du sédiment originel modifie la composition granulométrique du sédiment et favorise la sédimentation au sein du lit mineur. La floculation de particules en suspension a été observée en milieu estuarien par R. Wollast [5] lors de l'accroissement de la salinité. Toutefois, L. Glangeaud [1] a remarqué que des agrégats et des floculats se formaient dans les eaux douces de la Garonne et de la Loire.

Notre propos était donc double. Nous avons d'une part tenté de quantifier ces modifications granulométriques à l'aide d'un très large échantillonnage s'étalant sur des campagnes allant de 1974 à 1978, et d'établir une typologie parmi ces dépôts. D'autre part nous avons étudié le processus de sédimentation de chaque type de dépôt dans des sites choisis où nous avons observé les modifications éventuelles de la microtopographie.

I. — COMPOSITION DES SÉDIMENTS

Tous les sédiments récoltés ont été analysés en laboratoire suivant deux méthodes :

a) la première moitié de chaque échantillon a été séparée en quatre

fractions (1) par lévigation sans traitement préalable. Nous obtenons ainsi la répartition granulométrique du matériel d'origine dans les conditions réelles de sédimentation. Nous nous sommes assurés que la matière organique ne s'était pas jointe aux particules minérales après le dépôt : des échantillons d'eau ont été prélevés dans lesquels on a pu observer au microscope des muscosités, flocons et débris organiques qui retiennent des grains de dimensions variables. Après passage à l'étuve pour une évaporation lente, ces agrégats acquièrent une certaine compacité.

Dans chacune des fractions ainsi individualisées, nous avons ensuite éliminé les matières organiques par perte au feu (calcination) pour connaître l'importance de ces dernières vis-à-vis du résidu calciné.

b) la seconde moitié de l'échantillon a été débarrassée (par calcination) de sa matière organique avant de passer à l'élutriateur. Le résultat de cette analyse donne une image de la charge potentielle que le Geer aurait à transporter en l'absence d'influences anthropiques.

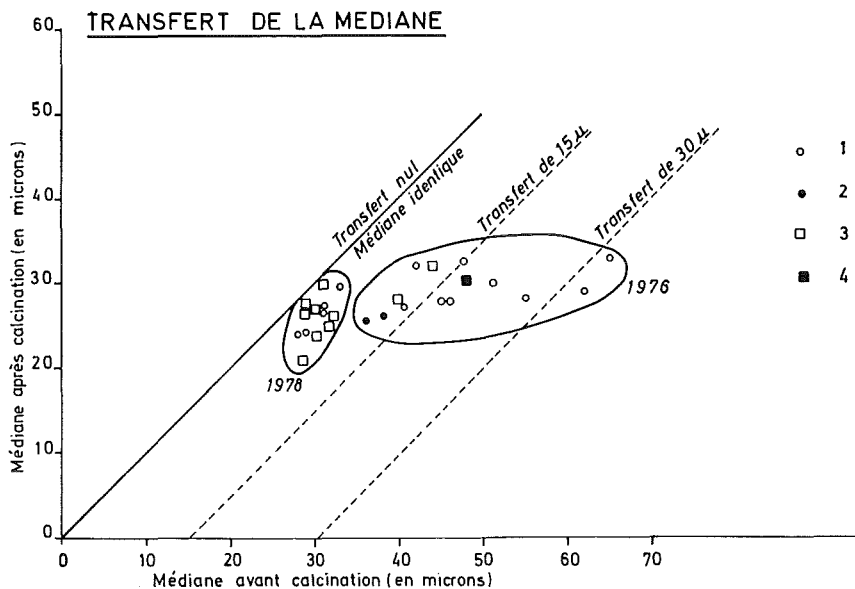


FIG. 1. — Transfert de la médiane.

Sédimentation en zone calme de la rive convexe (1), en rive convexe soumise à la turbulence d'un point d'impact intermédiaire (2), dans une cellule de contre-courant (3) et dans une cellule de contre-courant à proximité du point d'impact (4).

(1) L'élutriateur de type Andrew qui est utilisé permet grâce à la réglementation du piézomètre, de séparer les grains de diamètre inférieur à 105 µ, aux niveaux 20, 40 et 60 µ de diamètre équivalent. La densité du sédiment brut estimée par gravimétrie varie de 1,41 à 1,49. Toutefois, une certaine imprécision persiste du fait de la difficulté de prélever le sédiment et l'eau qui lui est associée lors de l'édification du dépôt.

La figure 1 permet de comparer la dimension du grain moyen avant et après calcination. Les médianes qui se groupaient entre 22 et 32 microns dans le sédiment calciné (cf. ci-dessus l'origine du sédiment) se répartissent entre 25 et 68 microns dans le matériel chargé de matières organiques.

Conjointement à cette dispersion et à ce transfert de la médiane vers les fractions plus « grossières », on assiste à une amélioration du classement due à une concentration dans une ou deux classes granulométriques. Nous verrons ci-dessous (voir fig. 3) l'importance de cette amélioration suivant les sites.

La création d'agrégats dus à la présence de matière organique a donc profondément modifié la composition des sédiments du Geer.

Ces modifications qui se traduisent (comme nous l'avons noté en fig. 1) par la dispersion des médianes et le glissement vers un mode situé dans une fraction plus grossière, sont elles-mêmes en étroite dépendance avec la composition originelle de la charge au moment de l'apport de la matière organique. Sur le diagramme triangulaire de la figure 2, il apparaît que pour les sédiments concentrés dans la zone I (la fraction de grains de diamètre inférieur à 20μ n'y atteint pas 15 % du total, la fraction des grains

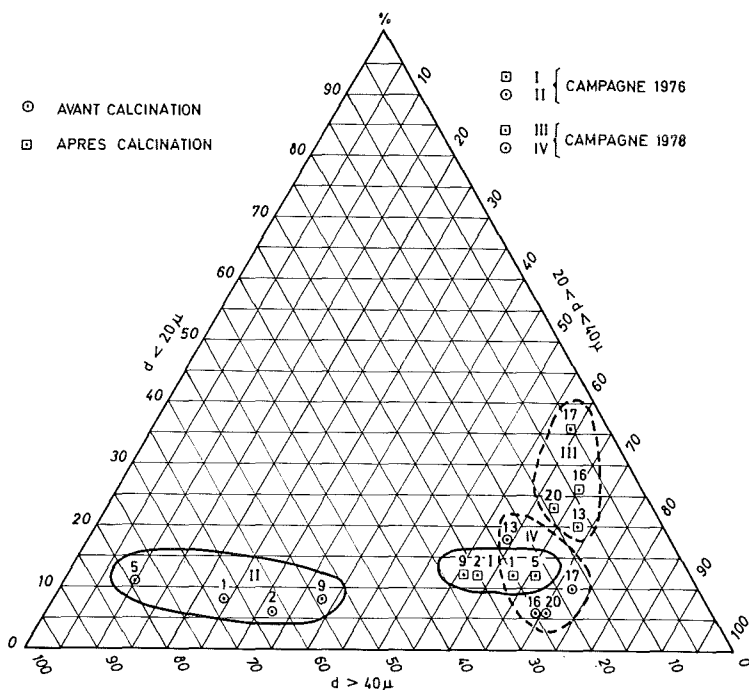


FIG. 2. — Modification de la composition granulométrique.

de 20 à 40 microns de diamètre y représente de 50 à 70 %), la formation d'agrégats a entraîné un transfert vers la zone II du diagramme (où plus de 50 % de grains ont un diamètre supérieur à 40 microns) sans grande variation dans la proportion de fines. Lorsque cette charge comporte une fraction fine plus importante (zone III, entre 20 et 40 % de plus petits que 20 microns), jumelée à un manque de grossiers, ce sont ces particules fines qui s'agglomèrent et viennent augmenter l'importance relative de la classe 20 à 40 microns déjà prépondérante, améliorant ainsi le classement (zone IV).

Les sédiments de la zone II ont été prélevés lors de la campagne de 1976 où le débit était relativement important, tandis que ceux de la zone IV (1978) ont été récoltés alors que le débit était plus faible et, par conséquent, la charge en suspension beaucoup moins riche en silts grossiers et en sables (2).

Des méthodes quantitatives ont été utilisées pour calculer des corrélations significatives et tenter de tracer des régressions bivariées ou multivariées entre les différentes fractions des matières minérales et la teneur en matière organique.

Une analyse en composantes principales a démontré que les paramètres spécifiques de la texture ne suffisaient pas pour établir des ensembles caractéristiques parmi les sédiments. Les points restent dispersés en nuages et les axes des nouvelles composantes ne servent qu'à identifier des sédiments plus ou moins bien classés (axe I) ou à séparer les sédiments riches ou pauvres en matière organique au niveau de la médiane (13 % de matière organique — le σ étant de 9 %) (axe II).

Il nous faudra donc, pour établir une étude quantifiée, introduire des facteurs propres à la dynamique fluviale — notamment vitesses dans les courants, contre-courant, point d'impact, turbulence, charge en suspension — qui amènent les particules en suspension. En outre, comme le signale J. Larras [2], il faudrait tenir compte de « l'attraction pseudo-capillaire et de l'adsorption à la surface des bancs » lors de l'édification des dépôts.

II. — SITE DE SÉDIMENTATION

A. — SECTEUR À MÉANDRE

Nous avons déjà observé (F. Petit, [3]) que dans un méandre il y avait deux cellules de sédimentation par boucle : l'une au pied de la rive convexe, l'autre au pied de la rive concave dans la zone occupée par un contre-courant (fig. 3). Rappelons que celui-ci est animé de vitesses nettement

(2) Cette figure ne reprend que quelques exemples destinés à introduire l'étude de ces modifications en relation avec les conditions hydrologiques propres à chaque site (voir paragraphe II).

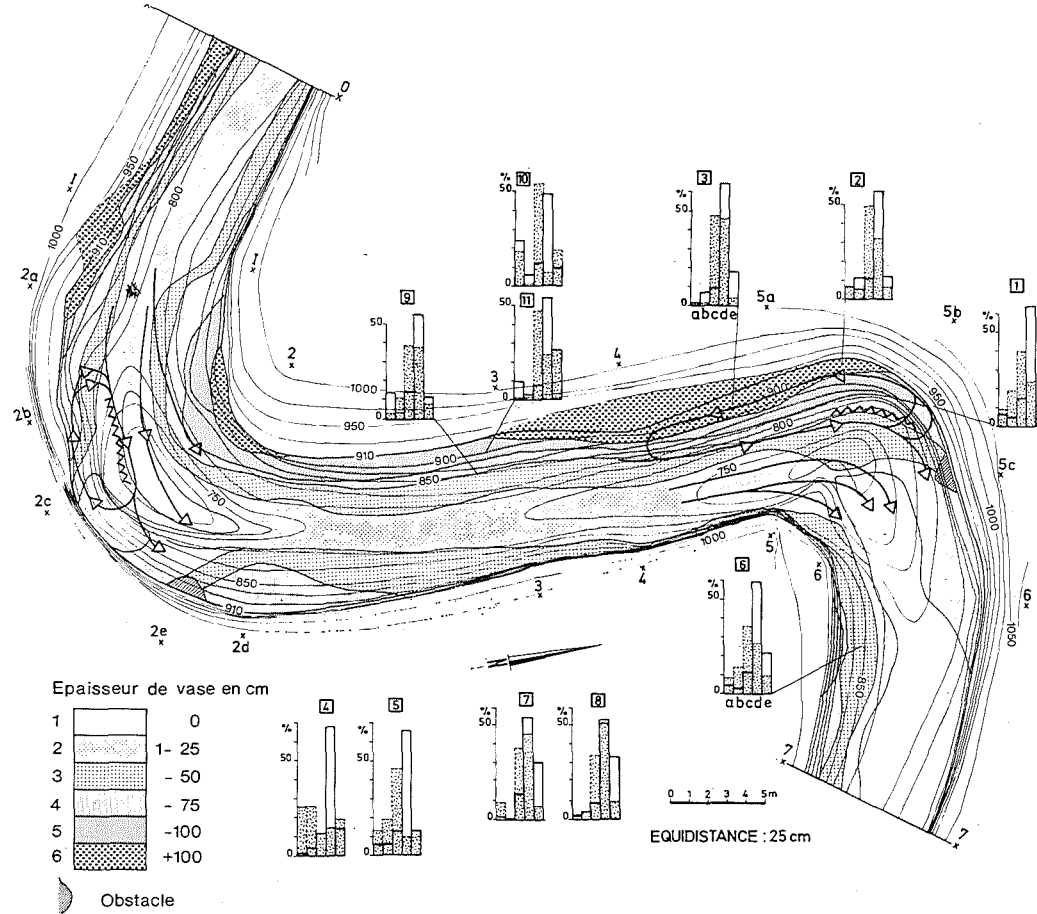


FIG. 3. — Analyse granulométrique avant calcination et après calcination.

Pour les symboles, voir la légende de la figure 4. Localisation des dépôts en 1972 avant que ne disparaisse la cellule de sédimentation au pied de la rive convexe de la première boucle. — Les échantillons 4 et 5 ont été prélevés en rive convexe; les échantillons 7 et 8 en rive convexe soumise à la turbulence d'un point d'impact intermédiaire.

plus faibles que le flux principal et protège ainsi une partie de la rive concave, favorisant même la sédimentation lorsque les vitesses diminuent. Ce contre-courant est engendré à partir de la difflue au point d'impact du flux principal. Est associée à ce contre-courant une zone de turbulence dont l'éloignement de la berge dépend de l'extension de la cellule de contre-courant, elle-même fixée par la localisation du point d'impact. Ainsi dans ce méandre, les deux cellules de contre-courant ont une extension différente : la cellule associée à la seconde boucle est nettement plus importante, car le point d'impact qui l'engendre se localise en aval du sommet de la boucle (3) ; il en résulte une sédimentation importante (les dépôts peuvent atteindre 1,2 m d'épaisseur). L'absence de rupture de pente entre la berge et les dépôts, la colonisation progressive de ceux-ci par la végétation et leur stratification permettent de postuler une sédimentation à caractère durable.

L'analyse des échantillons prélevés dans cette *cellule de contre-courant* indique que c'est à proximité du point d'impact que les agrégats grossiers sont les plus nombreux (28 % d'entre eux sont supérieurs à 60 μ dans l'échantillon 1 de la fig. 3). Au fur et à mesure que l'on s'en écarte cette proportion diminue au profit des fractions 20-40 et 40-60 μ d'abord, 20-40 μ ensuite ; le classement déjà bon s'améliore encore. Toutefois, les matières minérales qui constituent ces sédiments ont une composition granulométrique presque identique.

Dans la zone avoisinant le point d'impact, des gros agrégats se sédimentent, mais également des plus petits ; ceci résulte probablement de la variation dans la turbulence ; on y observe, en effet, une succession de périodes calmes où de gros agrégats, formés *in situ* ou ailleurs, pourraient sédimenter, et des périodes agitées où les agrégats seraient partiellement dissociés. Ceux-ci réduits, de la sorte, à une taille inférieure, seraient entraînés vers l'amont et pourraient se sédimenter lorsque la vitesse du contre-courant diminue. Ainsi la zone de turbulence associée au point d'impact contribuerait indirectement à améliorer le classement des agrégats qui se sédimentent plus en amont dans la cellule de contre-courant.

Les conditions de sédimentation dans les *rives convexes* sont différentes : les vitesses sont faibles (inférieures à 10 cm/s) ou nulles et la turbulence inexistante (4). La sédimentation s'y fait sous forme d'agrégats grossiers (jusqu'à 52 % supérieurs à 60 μ dans l'échantillon n° 4) (5) ; le sédiment

(3) Ceci résulte de la présence d'un point d'impact intermédiaire situé au pied de la rive convexe (D5).

(4) En dehors toutefois de la zone occupée par un point d'impact intermédiaire.

(5) Nous n'avons pas pu prélever d'échantillons au pied de la rive convexe de la première boucle, car une petite embâcle, dont nous reparlons ci-dessous, dévie le courant vers cette rive empêchant tout dépôt important. Toutefois, pour compléter notre échantillonnage, nous avons prélevé des sédiments dans des sites analogues d'autres méandres.

est moins bien classé qu'en rive concave et le glissement des fractions plus important, car les matières minérales qui constituent ces agrégats ont une dimension voisine de celles de la rive concave. Toutefois, les dépôts de rive convexe peuvent également subir l'influence de la turbulence associée au point d'impact intermédiaire. Ainsi, tout comme dans la cellule de contre-courant, les agrégats sont alors plus petits et le classement meilleur (échantillons 7 et 8).

Des dépôts se constituent également au point d'inflexion du méandre qui s'inscrit dans le prolongement de la rive convexe de la première boucle. Ils sont plus sableux (éch. 9), probablement à la suite de la déviation du courant, et se localisent au pied d'une petite banquette mise en relief lors d'un curage. La partie supérieure de celle-ci est constituée d'une lentille sableuse superficielle (éch. 10) (d'une épaisseur de 6 cm) recouvrant un dépôt plus fin, plus riche en matières organiques (éch. 11) (6). La limite entre ces deux niveaux est soulignée par un petit lit de feuilles mortes. Une telle proportion d'éléments sableux (24 % supérieurs à 105 μ dans l'échantillon 10), jamais observée dans des dépôts actuels de lit mineur, est à mettre en relation avec une crue qui a immergé cette banquette intermédiaire et permis une sédimentation marginale. En effet, nous avons observé une telle sédimentation après une petite crue inférieure au débit à plein bord, sur la presque totalité des banquettes intermédiaires colonisées par la végétation (7). Un tel type de dépôt pourrait être assimilé — *mutatis mutandis* — à des levées alluviales. En effet, les facteurs conditionnant la sédimentation sont identiques : freinage dû à la végétation d'une part et réduction du rayon hydraulique (J. Tricart, [4]). Toutefois, ces dépôts peuvent contenir une charge organique élevée (jusqu'à 20 % du poids total sec) ; ceci résulte probablement de la reprise, lors de petites crues, de dépôts transitoires de lit mineur, riches en matières organiques.

L'embâcle située à proximité de la rive concave de la première boucle s'est nettement renforcée entre 1976 et 1978 ; elle a provoqué une migration du point d'impact vers l'aval de la rive concave (8). Ainsi la cellule de contre-courant occupe une plus large extension ; à proximité de la rive, les vitesses et la turbulence sont faibles, permettant une sédimentation im-

(6) Rappelons que dans ces graphiques, ce sont des *pourcentages* qui sont comparés. Ainsi, la fraction minérale sableuse (supérieure à 105 μ) peut être *proportionnellement* plus importante que la fraction supérieure à 105 μ non calcinée. En effet, la calcination par fraction indique une très faible charge organique dans cette fraction ; or l'ensemble du sédiment est très riche en matière organique (jusqu'à 40 % du poids du sédiment sec pour l'échantillon 11). Un tel cas ne peut se produire que lorsque la fraction minérale est importante ainsi que la quantité de matière organique totale.

(7) Une telle sédimentation avait déjà été observée localement sur le dépôt émergé situé dans un méandre incipient.

(8) Ce point d'impact se situe à 2d dans la figure 4 où l'on observe des éboulements de la berge et un recul de celle-ci de l'ordre d'un mètre.

portante au pied d'une rive concave pourtant raide (près de 13 m^3 se sont déposés en moins de 2 ans) (9). L'analyse d'un dépôt actuel (éch. 12, fig. 4) montre que les agrégats sont fins (80 % entre 20 et 40μ) et qu'ils contiennent une forte proportion d'éléments minéraux fins (46 % inférieurs à 20μ). Par contre, les dépôts plus anciens, tant ceux de la banquette (éch. 13) que ceux qui sont situés sous le dépôt actuel (éch. 14) (prélèvement à -20 cm) sont constitués d'agrégats plus grossiers ; la proportion de matières minérales inférieures à 20μ y est plus faible (10). Ceci résulte de la turbulence, car à un dépôt plus ancien correspondent une turbulence et une vitesse plus fortes car le point d'impact était plus proche. Il semble toutefois que la taille de la charge minérale disponible limite la dimension des agrégats. Ce phénomène se vérifie dans les autres échantillons comme nous allons le voir ci-dessous.

Une seconde embâcle nettement plus importante s'est édiflée grossièrement selon un axe G2-D4 partant de la rive convexe ; elle est constituée de grosses branches tombées d'un arbre se situant au sommet de la boucle (cf. G2). Cette embâcle dévie le courant vers la rive droite individualisant une zone calme dans le prolongement de la rive convexe de la première boucle. D'autre part, la concentration du flux engendre une augmentation sensible des vitesses (de l'ordre de 50 cm/sec) et provoque une érosion de la rive droite. En outre, le point d'impact de la seconde boucle migre vers l'aval de la rive concave (il se localise légèrement en aval de 5c) favorisant une plus grande extension de la zone de contre-courant ; les vitesses et la turbulence y sont moindres qu'en 1976. Les dépôts sont constitués d'agrégats de petite taille (principalement entre 20 et 40μ) tout comme dans le dépôt actuel de la première boucle. Toutefois, la fraction supérieure à 40μ est ici un peu mieux représentée (elle peut atteindre 25 %) ; cette proportion croît lorsque l'on s'écarte du point d'impact. Il en est de même pour la fraction minérale inférieure à 20μ . Ceci résulte du glissement du point d'impact vers l'aval de la rive concave. La zone animée de vitesses fortes et soumise à la turbulence et la zone plus calme située en amont de celle-ci ont accompagné le point d'impact dans sa migration. Ainsi au pied du repère 5b où une turbulence sévissait en 1976, la turbulence n'existe pratiquement plus, ce qui permet un bon classement. En 1976, une telle zone était localisée à proximité de 5a où actuellement les conditions d'écoulement sont très calmes (de type semi-lacustre) présentant les conditions optimales pour la formation de gros agrégats. Toutefois, cette tendance

(9) Il faut toutefois noter la présence d'une petite banquette récente en amont de 2c ; celle-ci est stabilisée alors que, avant la migration du point d'impact, les dépôts étaient transitoires dans cette partie de la cellule de contre-courant ; la berge était même soumise à une érosion comme en témoignent des racines d'arbres apparentes dans la berge.

(10) Ainsi le glissement se fait vers la classe $40-60 \mu$.

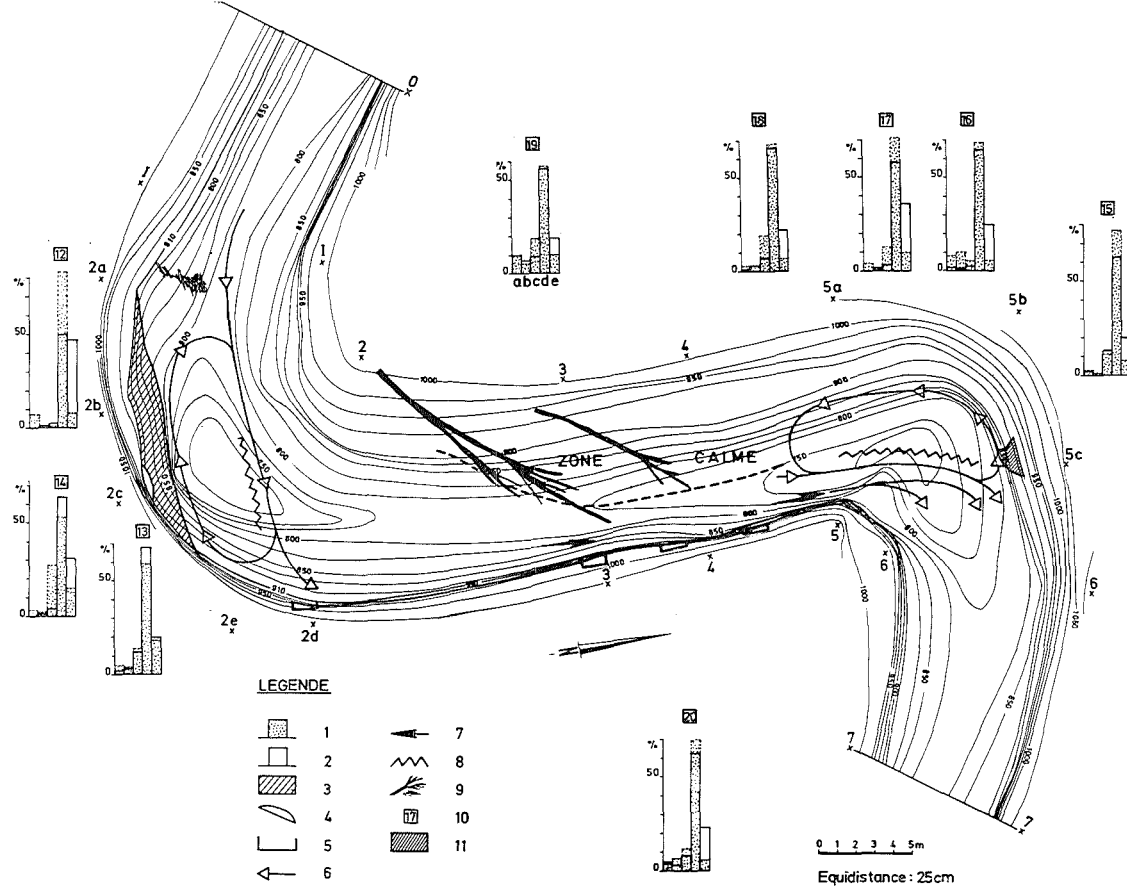


FIG. 4. — Analyse granulométrique avant calcination (1) et après calcination (2).

a = Fraction supérieure à 105 μ ; b = fraction comprise entre 60 et 105 μ ; c = fraction comprise entre 40 et 60 μ ; d = fraction comprise entre 20 et 40 μ ; e = fraction inférieure à 20 μ . — 3 = Dépôt récent émergé; 4 = banquette stabilisée; 5 = érosion importante; 6 = orientation du courant; 7 = accélération des vitesses; 8 = ride associé au contre-courant; 9 = embâcle; 10 = numérotation des échantillons; 11 = obstacle.

reste assez limitée, ce qui a été également observé dans les dépôts de rives convexes associés à un écoulement calme. Ceci confirme bien que la dimension des agrégats est limitée par la taille des matières minérales disponibles. Dans ce cas, l'importance de la fraction minérale inférieure à $20\ \mu$ qui semble contrarier la formation de gros agrégats résulte probablement de valeurs particulièrement basses du débit de la rivière.

B. — MÉANDRE INCIPIENT

Ce secteur se caractérise par un dépôt édifié au pied de la rive concave d'une boucle (11), probablement à la suite d'une embâcle. Le courant dévié vers la rive convexe a sapé la berge et provoqué une encoche (vitesse atteignant $50\ \text{cm/s}$). Nous avons observé que ce dépôt stabilisé par la végétation se renforçait lors de débits moyens ou de petites crues alors que la rive convexe était soumise à une érosion importante. Ainsi, une « méandration » secondaire de faible dimension s'est créée au sein d'une forme plus large à laquelle elle tend à s'opposer. Toutefois, ce dépôt a été curé en 1974. Ainsi, ce secteur a été replacé dans les conditions initiales d'écoulement individualisant à nouveau une zone calme au pied de la rive convexe. L'accumulation y a été importante et durable ; en moins de 2 ans, les dépôts ont atteint une épaisseur de 1 m (sur une longueur de 18 m). Ils présentent les caractéristiques des dépôts de rive convexe : agrégats grossiers (jusqu'à 54 % supérieurs à $60\ \mu$), mauvais classement, transfert important. Toutefois, nous avons constaté, comme pour les autres échantillons, que dans les échantillons prélevés en 1978, la taille des agrégats était limitée à la fraction comprise entre 20 et $40\ \mu$ (plus de 75 %), ceci allant de pair avec une forte proportion de particules minérales fines (plus de 35 %).

III. — CONCLUSION

En présence de matières organiques, les matières minérales forment des agrégats. Ceux-ci peuvent atteindre une taille importante *en rive convexe*, où les vitesses sont généralement plus faibles. Dans les cellules de contre-courant, *en rive concave*, ils ont une taille moindre, car la turbulence associée au point d'impact peut rompre ces agrégats et améliorer indirectement le classement des dépôts situés plus en amont où les conditions sont plus calmes. Par contre, à proximité du point d'impact, les dépôts sont moins bien classés ; ceci correspond aux épisodes successivement calmes et agités dus à la turbulence. Ainsi, le lieu de formation de ces agrégats ne coïncide pas toujours avec le lieu de sédimentation.

(11) Cette localisation n'a rien d'exceptionnel, car on constate que beaucoup de branches et de débris transportés par la rivière se bloquent très souvent au point d'impact dans des racines ou dans des creux de la microtopographie de la rive. Ces obstacles servent de point de départ à des embâcles plus importantes.

La dimension de ces agrégats semble être liée à la taille des matières minérales ; or, celle-ci varie en fonction des débits. Les silts grossiers (spécialement la classe 20-40 μ) représentent généralement la plus forte proportion du sédiment. Toutefois, la fraction sableuse, associée à des débits plus forts, peut atteindre une proportion non négligeable dans des dépôts situés en marge du lit mineur.

Les agrégats permettent une sédimentation importante dans les sites de rive convexe et dans les cellules de contre-courant situées au pied des rives concaves. Toutefois, des dépôts peuvent se constituer rapidement grâce à la présence d'embâcles ; celles-ci peuvent atteindre une certaine ampleur favorisant la stabilisation des dépôts, et provoquer localement le façonnement d'une nouvelle morphologie.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] GLANGEAUD, L. — *Sur la formation et la répartition de faciès vaseux dans les estuaires*, dans *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, t. 213, 1941, pp. 1022-1024.
 - [2] LARRAS, J. — *Fleuves et rivières non aménagés*. Eyrolles, Paris, 1977, 187 p.
 - [3] PETIT, F. — *Zones de dépôts et points d'érosion dans les méandres et les sinuosités du Geer inférieur*, dans *Bull. Soc. géog. de Liège*, n° 11, 1975, pp. 129-145.
 - [4] TRICART, J. — *Précis de géomorphologie*. Tome 2. *Géomorphologie dynamique générale*. SEDES et CDU, Paris, 1977, 345 p.
 - [5] WOLLAST, R. — *Origine et mécanisme de l'envasement de l'estuaire de l'Escaut*. Rapport de synthèse. Ministère des Travaux publics, 1973, 140 p.
-

