

## Etude géomorphologique du delta du Rhône : l'évolution des milieux de sédimentation fluviales au cours de l'Holocène récent

Gilles ARNAUD-FASSETTA\*  
Mireille PROVANSAL\*\*

**Résumé** - Le fonctionnement hydrosédimentaire du Rhône et son rôle dans l'évolution du delta depuis le premier millénaire ap. J.C. sont appréhendés par l'analyse des dépôts alluviaux de deux paléochenaux : le Rhône d'Ulmet (fin de l'Antiquité) et le Rhône du Bras de Fer (XVIII<sup>e</sup> siècle). Les dynamiques fluviales de ces deux périodes sont comparées à celles du Rhône actuel. L'Antiquité tardive apparaît caractérisée par une recrudescence de l'activité hydrologique, qui n'accélère cependant pas la progradation du front deltaïque. Les modifications hydrosédimentaires du Rhône dans sa plaine deltaïque à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, puis au XX<sup>e</sup> siècle interviennent de façon décisive sur le comportement du delta. On propose une interprétation paléoclimatique et anthropique à ces « métamorphoses ». Intégré dans un « vaste géosystème ouvert à processus-réponse », le delta du Rhône est considéré comme un enregistreur potentiel des dynamiques hydrosédimentaires passées et actuelles.

**Abstract** - The hydrosedimental functioning of the Holocen Rhone and its role in the delta evolution since the first millenium ap. J.C., have been apprehended by the alluvial clastic sediments analysis of two palaeochannels : Ulmet Rhone (end of the Antiquity), Bras de Fer Rhone (18th century). Fluvial dynamics of these two periods have been compared with those of the actual Rhone. We found several fluvial metamorphosis of the Rhone in its deltaic plain. One of them is linked to the « Little Ice Age » climatic pejoration accentuated, without doubt, by human impacts. Integrated in a « large open response processus geosystem », the Rhone delta is considered as a potential recorder of the former dynamics.

### INTRODUCTION

Comme la plupart des grands fleuves méditerranéens, le Rhône se termine par un delta, vaste complexe sédimentaire, mis en place au cours de l'Holocène sous l'action conjuguée de la mer et du fleuve (DUBOUL-RAZAVET, 1956; ALOISI *et al.*, 1974). L'étude présentée ici porte, plus particulièrement, sur la partie sommitale de la stratigraphie, correspondant aux dépôts fluviaux abandonnés depuis un peu plus d'un millénaire par les défluviations du Rhône sur sa plaine deltaïque émergée.

Le système fluvial rhodanien est régi par plusieurs variables hiérarchisées : les variables indépendantes de premier ordre sont la géologie, le climat et l'anthropisation du milieu naturel. Celles-ci conditionnent, directement ou par l'intermédiaire des facteurs édaphiques et de la végétation, les caractéristiques des variables de deuxième ordre qui sont le débit solide et la charge solide des cours d'eau, intervenant elles-mêmes sur la variable de troisième ordre : la dynamique fluviale. Toute modification des facteurs provoque à l'aval une réponse qui se répercute sur les autres niveaux, et conditionne le comportement morphosédimentaire du cours d'eau et de son delta. Le système fluvial est ainsi qualifié par S.A. SHUMM (1977) de « système à processus-réponse ». Dans le delta lui-même, enfin, la variation relative du niveau marin modifie le profil en long du fleuve et sa capacité d'évacuer sa charge sédimentaire. On pose ici l'hypothèse que la construction du delta du Rhône enregistre l'interaction complexe entre l'évolution morphoclimatique et anthropique de son bassin-versant et les fluctuations de son niveau de base. Cette recherche se donne pour but de caractériser quelques milieux de sédimentation fluviaux à travers la comparaison de deux paléochenaux et des bras actuels du Rhône, puis de proposer quelques hypothèses sur les mutations du fleuve dans son delta.

\* Doctorant, URA 903 CNRS, Université de Provence, Aix-en-Provence.

\*\* URA 903 CNRS, Université de Provence, Aix-en-Provence.

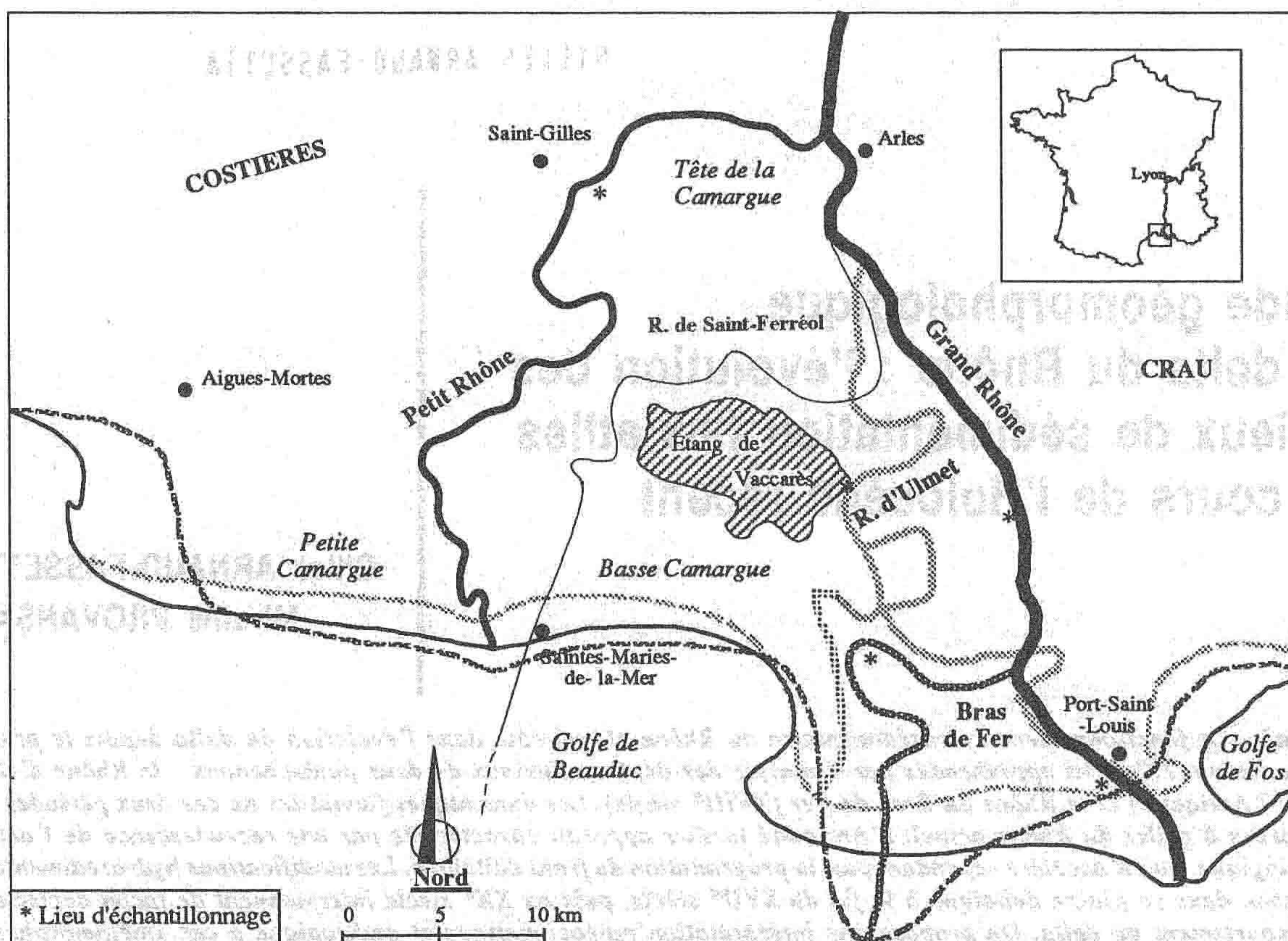


Fig. 1 - ÉVOLUTION DES BRAS FLUVIAUX ET DE LA LIGNE DE RIVAGE DU DELTA DU RHÔNE DEPUIS L'ANTIQUITÉ TARDIVE. (L'HOMER, 1981).

### 1 - LES TRAITS MORPHOLOGIQUES ACTUELS DU DELTA DU RHÔNE, RELIQUATS D'UNE HISTOIRE GÉOMORPHOLOGIQUE COMPLEXE (fig. 1)

Le delta du Rhône est une basse plaine subhorizontale de niveau de base, d'une superficie de 174.000 ha. Bordée au nord et à l'ouest par le chaînon des Alpilles et par les Costières de Nîmes, à l'est par la Crau, il s'élargit rapidement vers le sud où il atteint 70 km de large. D'Arles à la mer, la pente est très faible ( $0,17 \text{ ‰}$ ) et ralentit l'écoulement des eaux fluviales.

Dans ce paysage uniforme, les altitudes les plus élevées dépassent rarement 4 m, sauf à Beauduc où les dunes littorales s'élèvent à 7 m de hauteur. Dans le détail, la surface du delta est caractérisée par des alignements topographiques, d'amplitude modeste, soulignés par la végétation; ils correspondent à un réseau complexe et irrégulier de levées alluviales et de dunes fossiles (appelées *montilles*). Au nord, en haute Camargue, ces anciennes levées sont soulignées par de grands arbres hygrophiles. Au sud, en moyenne et basse Camargue, elles sont plus effacées et s'associent à d'anciens cordons dunaires pour délimiter de vastes zones déprimées, marécageuses ou palustres, dont la plus importante est occupée par l'étang de Vaccarès.

La plaine deltaïque s'est formée sous l'action conjuguée de la mer et du fleuve. A partir des cordons littoraux correspondant au maximum de la transgression versilienne (estimé à 5400 BP, L'HOMER, 1981), un actif remblaiement d'origine fluviale fait prograder les terres sur le domaine marin (ALOISI *et al.*, 1974). Les chenaux du fleuve se surimposent aux formations lagunaires ou palustres littorales; les divagations du fleuve ont été nombreuses, abandonnant à chaque défluviation des lits peu à peu colmatés et fossilisés et des séquences d'inondation qui se superposent et se recourent. Ces divagations, liées aux crues du fleuve mais peut-être induites aussi par les variations relatives du niveau marin, ont caractérisé tout l'Holocène jusqu'à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle.

Les travaux de G. DENIZOT (1959), C. DUBOUL-BAZAVET (1956) et A. L'HOMER (1981 et 1987), puis la cartographie à partir du XVII<sup>e</sup> siècle, permettent de préciser la position chronologique des deux bras étudiés :

- Le Rhône d'Ulmet serait en fonction depuis le Néolithique (6000 à 5850 BP), formant avec les bras d'Albaron et de Saint-Ferréol un delta en patte d'oie. A l'époque romaine et au haut Moyen Age, il constitue l'exutoire principal, associé au bras de Saint-Ferréol en cours d'extinction. Il n'est plus fonctionnel au

cours du XIII<sup>e</sup> siècle mais subsiste encore quelques temps sous forme de roubine.

- Le Bras de Fer fonctionne de 1587 à 1711. Ce tracé correspond à une progradation rapide du delta qui prend alors une forme en pointe. Il est abandonné par une défluviation en 1711 au profit du tracé actuel du Grand Rhône.

Aujourd'hui, le Grand Rhône et le Petit Rhône constituent les deux branches du delta. Le Grand Rhône véhicule 90 % des débits solides et liquides. Des travaux d'endiguement, commencés au XII<sup>e</sup> siècle sur le Petit Rhône, sont terminés à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle sur toute la longueur des deux bras. Ils ont définitivement sédentarisé le cours du fleuve, qui ne compte plus actuellement qu'une embouchure active : le grau de Roustan. En fait, le delta est resté inondable jusqu'à une époque récente. La crue de 1856 l'a par exemple envahi dans sa quasi totalité. Ces inondations rendent difficile le repérage et l'interprétation de la paléogéographie des lits holocènes et de la stratigraphie des dépôts.

## 2 - CARACTÉRISATION SÉDIMENTOLOGIQUE DES MILIEUX FLUVIATILES DU DELTA DU RHÔNE

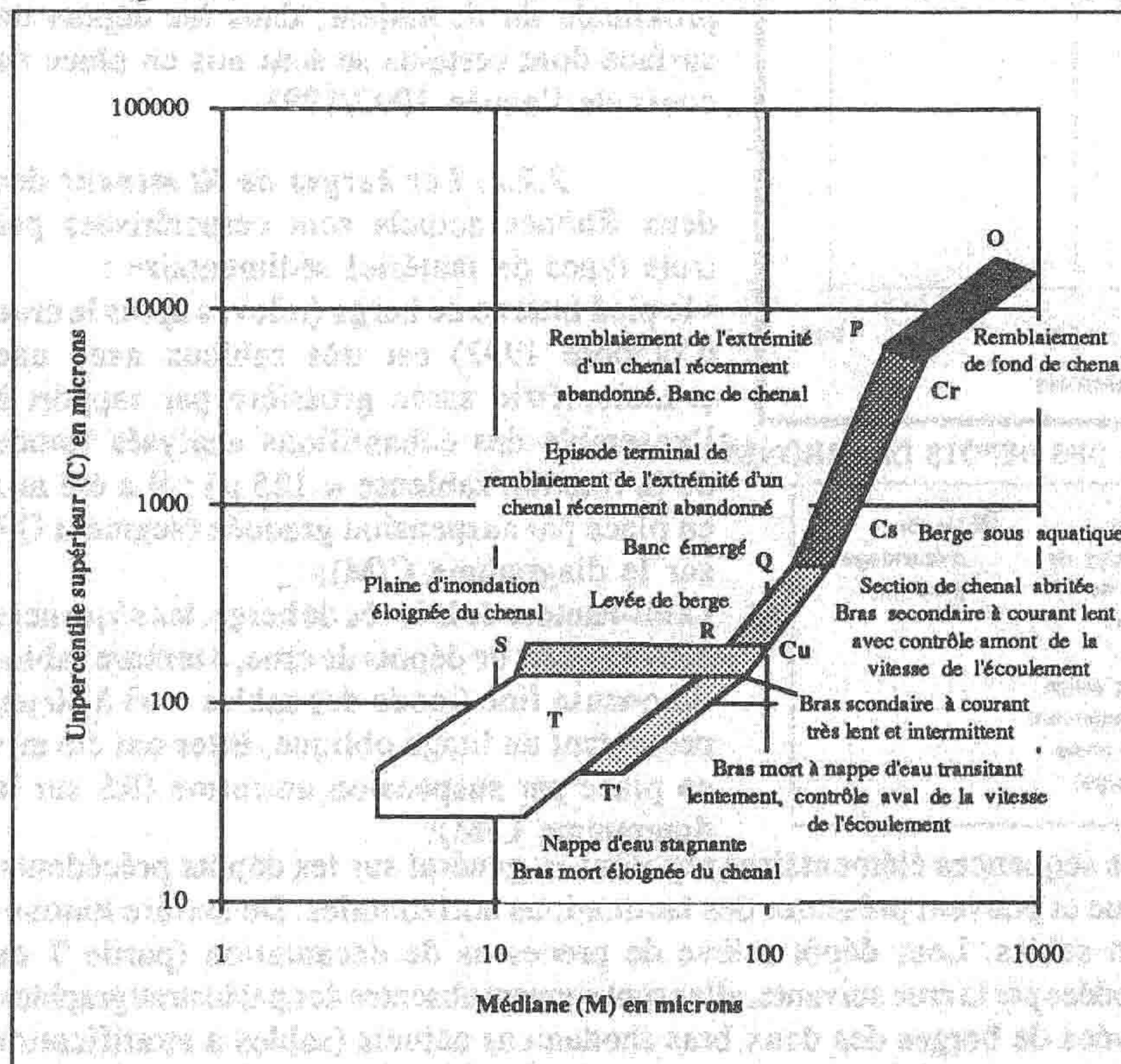
Dans le contexte paléoenvironnemental décrit ci-dessus, on se propose de comparer les caractères sédimentologiques du Rhône actuel et des paléochenaux d'Ulmet et du Bras de Fer, dont les dépôts sont accessibles et la chronologie clairement identifiée.

### 2.1. Préalables méthodologiques

La démarche adoptée repose sur la reconnaissance géomorphologique de terrain associée à l'analyse sédimentologique du matériel alluvial.

2.1.1. La reconnaissance des deux paléotraces d'Ulmet et du Bras de Fer a été effectuée d'après les cartes géologiques au 1/50.000 (Arles, Istres et Saintes-Maries), les travaux de A. L'HOMER (1981 et 1987) et la photographie aérienne. L'identification des paléochenaux au sol n'est pas toujours facile et la distinction des anciens milieux fluviaux (berges et lits d'inondation en particulier) reste parfois hasardeuse. Trois éléments sont apparus déterminants :

- La microtopographie : les levées de berge correspondent encore parfois à des reliefs peu marqués (1 m de hauteur relative) et allongés.
- La végétation : c'est un indicateur indirect de la texture des sédiments sur lesquels elle se développe et des formes qu'elle souligne : feuillus ou tamaris sur les micro-reliefs sableux, « sansouire » sur les limons d'inondation, cette formation végétale étant plus ouverte dans les zones basses et/ou éloignées des anciennes levées.



et des formes qu'elle souligne : feuillus ou tamaris sur les micro-reliefs sableux, « sansouire » sur les limons d'inondation, cette formation végétale étant plus ouverte dans les zones basses et/ou éloignées des anciennes levées.

• Les coupes stratigraphiques visibles dans les berges vives de l'étang de Vaccarès ou dans des canaux de drainage (roubines). La plupart des prélèvements ont été effectués sur des transects perpendiculaires à l'axe des paléochenaux pour prendre en compte la paléogéographie des lits et les variations latérales de milieu (colmatage de chenaux, levée de berge, épandage proximal ou distal). Pour permettre une étude comparative des dynamiques sédimentaires et pour une meilleure interprétation des modes de dépôt passés, deux transects ont été relevés sur les bras actuels du Grand Rhône et du Petit Rhône.

Fig. 2 - IMAGE C/M DE PEIRY (1988).

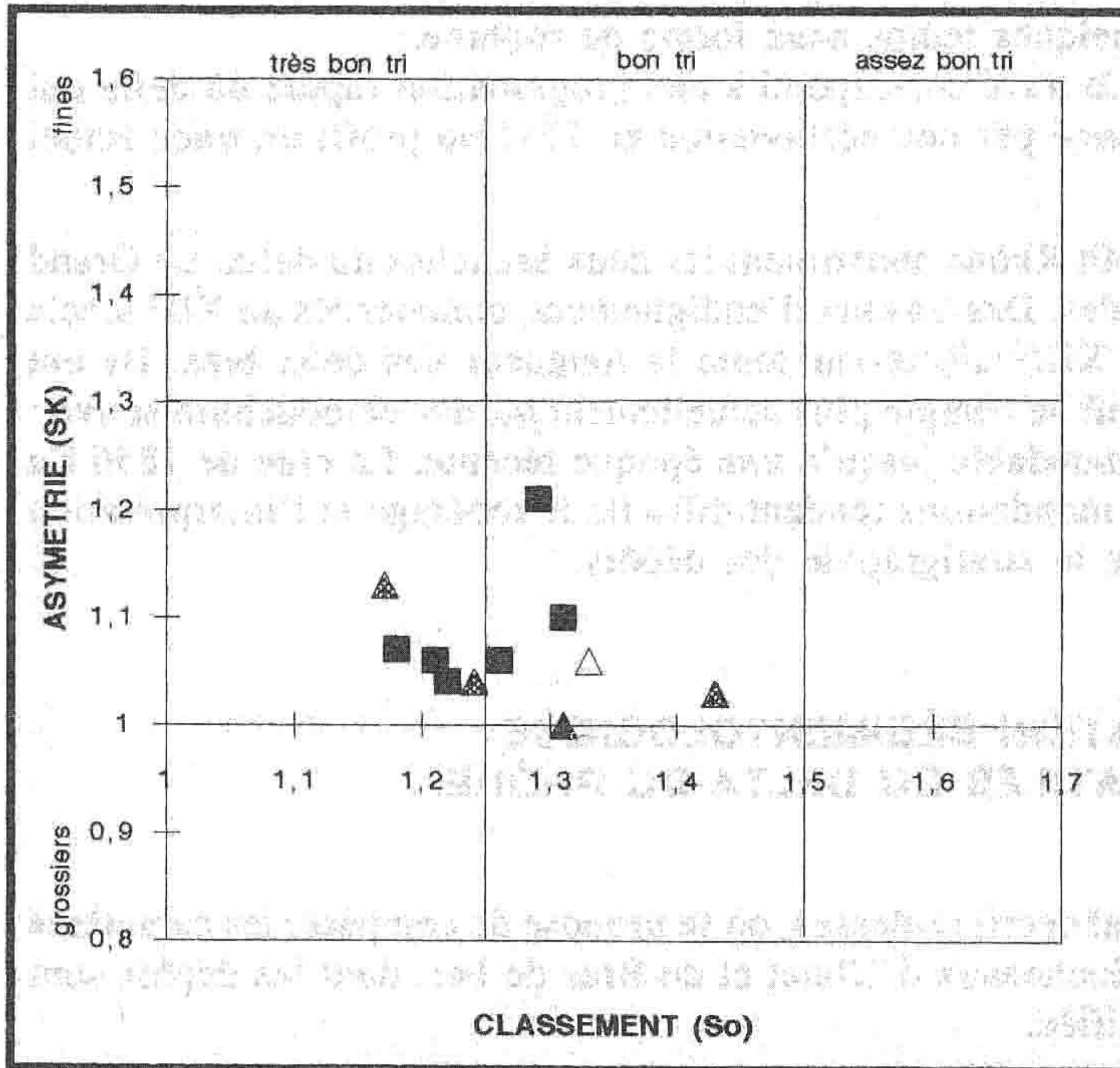


Fig. 3a - IMAGE SO/SK DES DÉPÔTS DES RHÔNES ACTUELS.

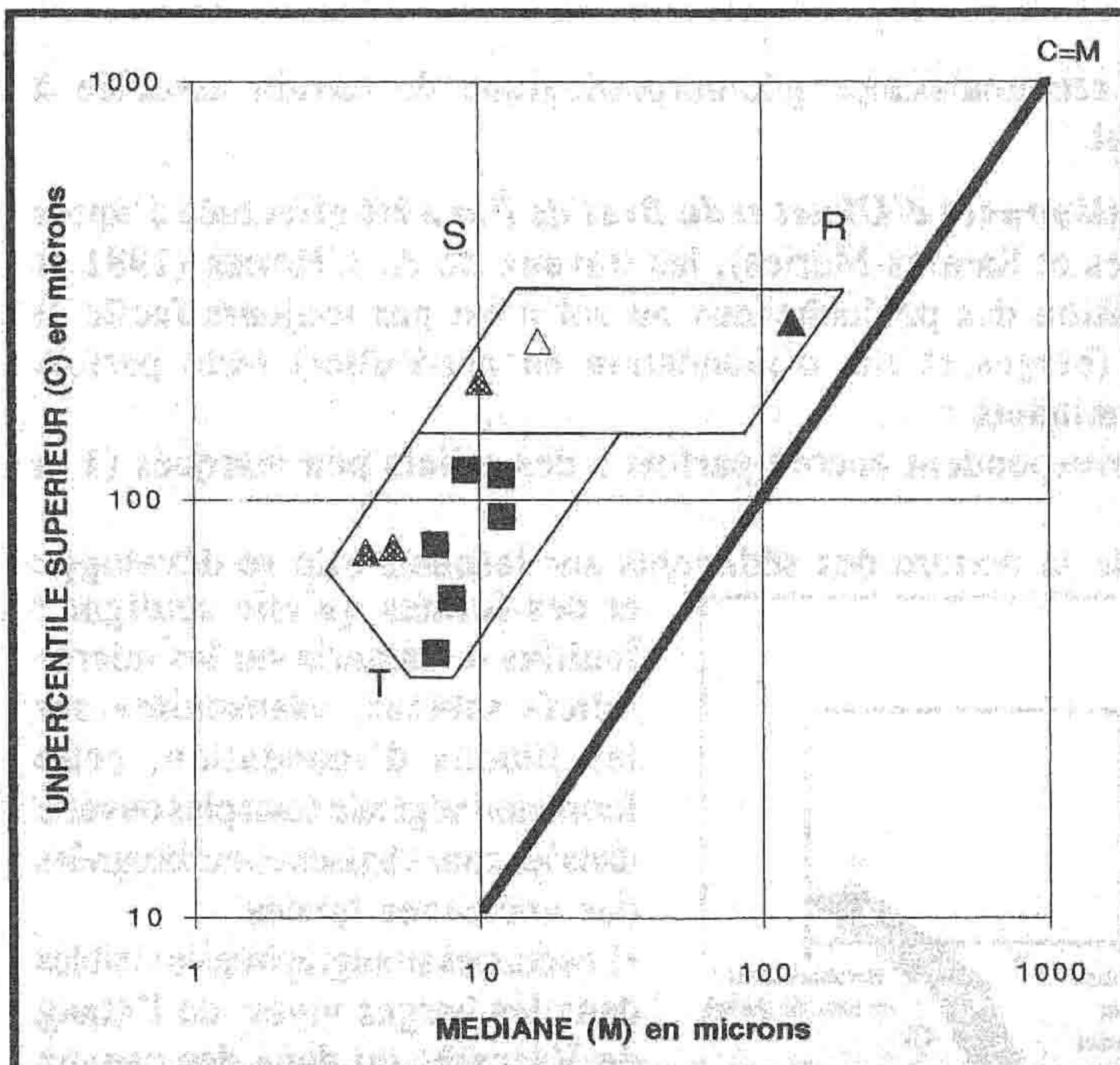
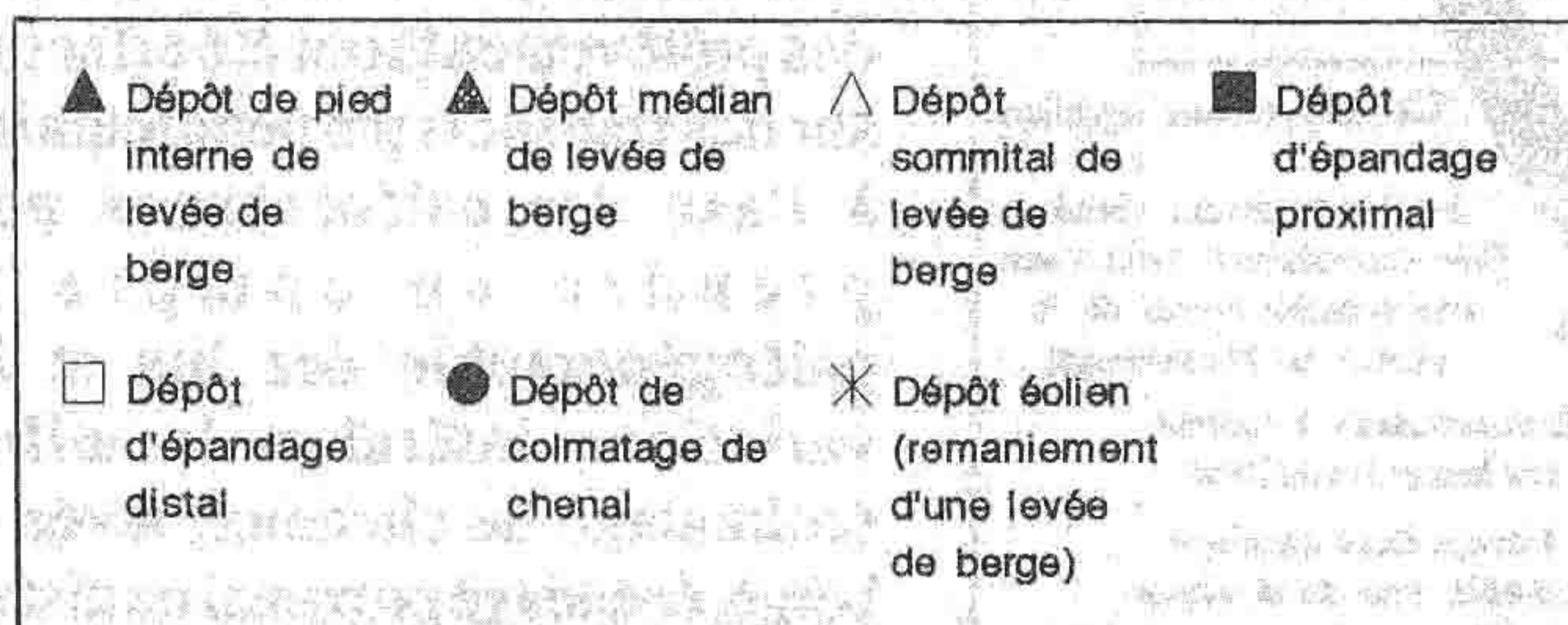


Fig. 3b - IMAGE GRANULOMÉTRIQUE C/M DES DÉPÔTS DES RHÔNES



• au sommet des levées de berge, les séquences élémentaires reposent en général sur les dépôts précédents. Elles sont riches en matière organique et peuvent présenter des laminations horizontales. De texture limono-argileuse, elles sont très pauvres en sables. Leur dépôt relève de processus de décantation (partie T du diagramme C/M) lors de la décrue. Erodées par la crue suivante, elles sont souvent absentes des paléostratigraphies. Ces séquences élémentaires des levées de berges des deux bras rhodaniens actuels (sables à stratification oblique à la base surmontés de lits silto-argileux à litage horizontal) correspondent aux dépôts des séquences théoriques décrites par S. KUMAR et I.B. SINGHT (1978). Cette séquence théorique sera utile à la discrimination géomorphologique des dépôts anciens.

### 2.1.2. L'interprétation dynamique

s'appuie sur deux approches méthodologiques :  
 - l'analyse de la répartition texturale du sédiment (argiles/ silts / sables) et l'analyse statistique de la fraction sableuse. Celle-ci fournit, à partir d'une courbe cumulative rétrograde, les indices et les paramètres statistiques suivants : le mode, indicateur de la grossièreté granulométrique du sédiment, le *Sorting Index de Trask* (indice de classement évoquant le type de dynamique hydrosédimentaire et son intensité) et le *Skewness* (coefficient d'asymétrie permettant d'appréhender les processus d'enrichissement et d'appauvrissement postérieurs ou contemporains du dépôt).

- l'utilisation des diagrammes de R. PASSEGA (1964), repris par J.P. BRAVARD (1983) et J.L. PEIRY (1988), qui permettent, à partir de deux paramètres calculés sur la fraction totale du sédiment, d'identifier les dynamiques hydrosédimentaires des principaux milieux fluviaux (fig. 2) : le unpercentile supérieur permettant d'estimer la compétence maximale du courant et la médiane qui décrit la grossièreté moyenne du dépôt. L'utilisation de cette méthode, déjà appliquée au Rhône moyen actuel et à ses dépôts holocènes nous a paru intéressante à titre comparatif.

### 2.2. Les Rhônes actuels (fig. 3)

Les échantillons ont été prélevés dans la partie aval des deux Rhônes actuels, en bordure du lit mineur actuel et dans la partie proximale du lit majeur, dans les dépôts de surface dont certains se sont mis en place au cours de l'année 1992/1993.

#### 2.2.1. Les berges de lit mineur des

deux Rhônes actuels sont caractérisées par trois types de matériel sédimentaire :

- le pied interne de berge (relevés après la crue d'octobre 1992) est très sableux avec une granulométrie assez grossière par rapport à l'ensemble des échantillons analysés (mode de la fraction sableuse = 125  $\mu$ ) ; il a été mis en place par suspension graduée (segment QR sur le diagramme C/M) ;
- à mi-hauteur de la levée de berge, les séquences élémentaires de dépôts de crue, à texture sablo-limoneuse fine (mode des sables = 63 à 80  $\mu$ ), présentent un litage oblique. Elles ont été mis en place par suspension uniforme (RS sur le diagramme C/M) ;

2.2.2. Dans le lit majeur du Rhône actuel, qui est limité aujourd'hui par les endiguements du XIX<sup>e</sup> siècle, les épandages alluviaux sont caractérisés par la superposition de lamines granoclassées horizontales, chaque lamine représentant une séquence élémentaire de crue. Mais la partie supérieure (dépôts les plus fins) est la plupart du temps remise en suspension lors de la crue suivante. On a donc souvent une succession de séquences élémentaires tronquées. Les silts prédominent (proportion de sables inférieure à 5 %) et la fraction sableuse est très fine (mode = 63 à 80  $\mu$ ). Ces sédiments ont été déposés par décantation (segment T du diagramme C/M). Les lits de sables sont plus abondants à proximité de la levée de berge. Les endiguements récents du Rhône, en réduisant la surface potentielle du champ d'inondation, ont contribué à un accroissement vertical de la puissance des dépôts d'épandage. Toute comparaison avec des stratigraphies antérieures devra en tenir compte.

La fig. 3 montre l'hétérogénéité des indices sédimentologiques pour chacune des formes fluviales du Rhône actuel. On retiendra (fig. 3a) le tri bon à très bon de ces dépôts, surtout dans le lit majeur; à l'exception du pied interne de la levée de berge, ils ont été enrichis en fraction fine lors de la décrue. Ce sont les dynamiques de l'épandage proximal de lit majeur et du pied interne de berge qui sont le plus clairement identifiées par l'image C/M (fig. 3b).

### 2.3. Le Rhône d'Ulmet (fig. 4)

A. L'HOMER (1987) situe son tracé sur le bord est de l'étang de Vaccarès. Au lieu-dit Fiélouse, les berges de l'étang s'inscrivent en effet dans des dépôts fluviaux constitués de trois formations sédimentaires ravinantes ou discordantes entre elles.

#### 2.3.1. Stratigraphie et sédimentologie

• A la base, la première formation, épaisse de 2 m environ, est constituée de plusieurs séquences décimétriques, faiblement ravinantes entre elles, localement séparées par des rides plus sableuses. Leur faciès est homogène, à structure massive. Leur texture est fine, à dominante silto-argileuse avec des sables fins (mode = 63 à 100  $\mu$ ); elles ont été déposées par suspension uniforme (segment RS sur le diagramme C/M). On propose d'y voir des épandages successifs de crue dans le lit majeur proche des berges : en effet, la texture et la massivité des sédiments, sur plusieurs centaines de mètres, sans structure sédimentaire apparente, ne permettent pas de l'interpréter comme un dépôt de berge. Mais leur dynamique encore élevée, la présence de rides intra-formationnelles plus grossières, évoquent la proximité du chenal principal. La source rhodanienne est alors au nord du site : en effet, du nord au sud de la coupe la texture s'affine (diminution du pourcentage des sables et de leur médiane) et la teneur en calcaire total diminue de 42,5 % à 27,3 % (CARRIO, 1988).

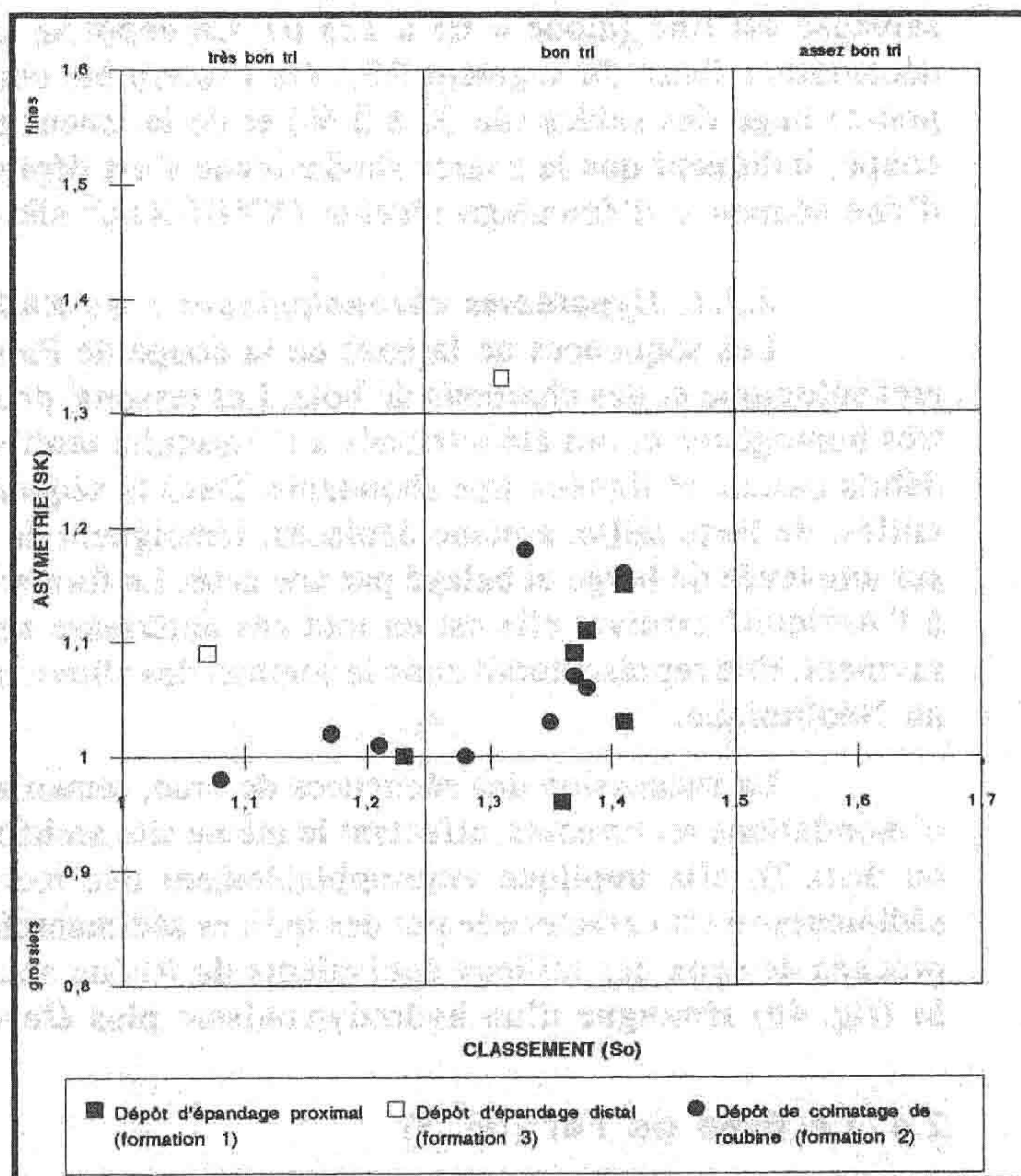


Fig. 4a - IMAGE SO/SK DES DÉPÔTS DU RHÔNE D'ULMET

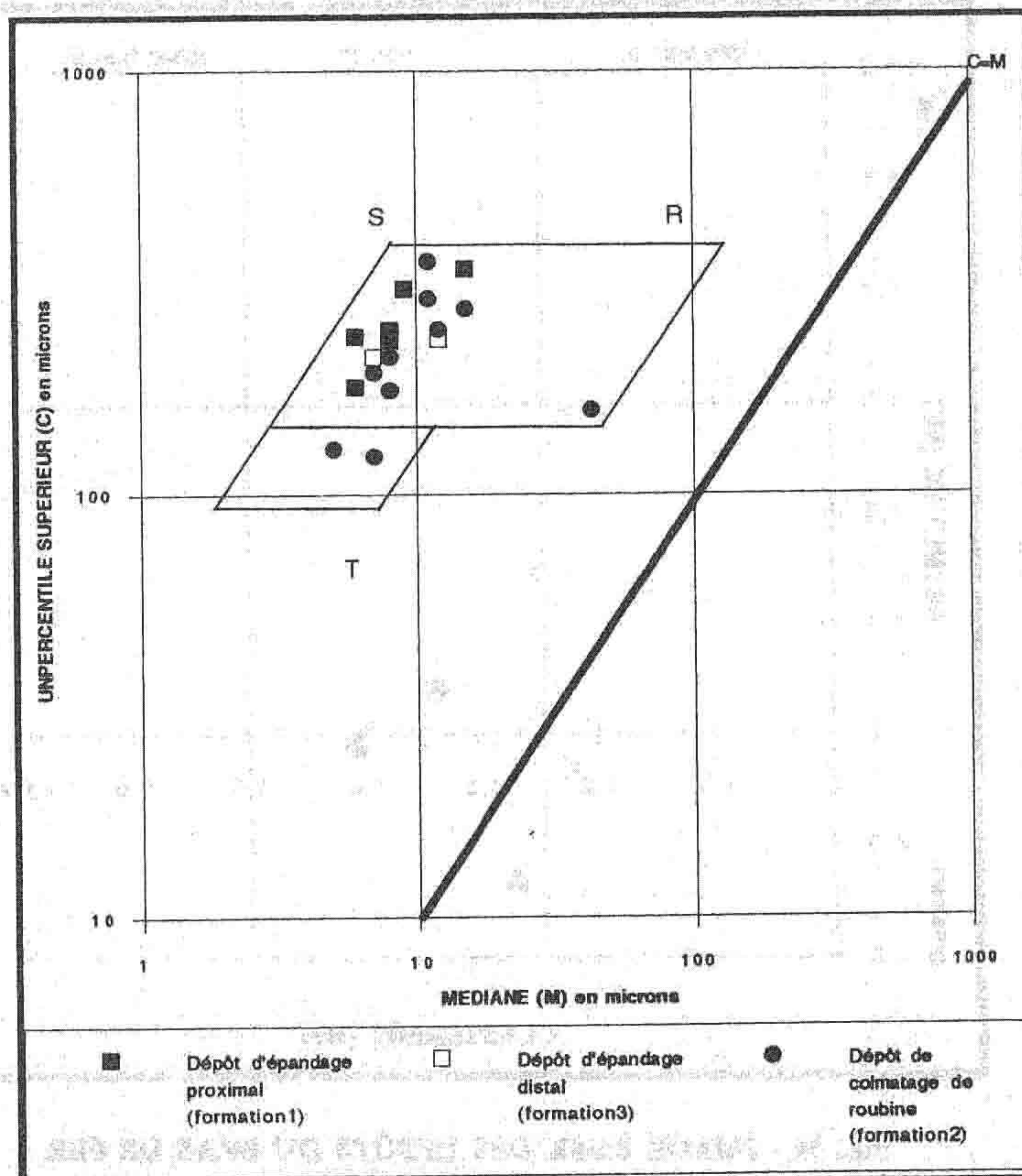


Fig. 4b - IMAGE GRANULOMÉTRIQUE C/M DES DÉPÔTS DU RHÔNE D'ULMET

• La deuxième formation correspond à un colmatage de chenaux ravinants peu profonds (inférieurs à 1 m). Leurs caractères sédimentaires hétérogènes (silts argileux finement lités, sables bien triés, dépôt par décantation et suspension uniforme) et leur géométrie évoquent un colmatage de roubines. A. L'HOMER (1987) signale, d'ailleurs, que le chenal du Rhône d'Umet, atterri dès le XIII<sup>e</sup> siècle, a été utilisé encore quelques temps par un réseau de canaux de drainage.

• La formation supérieure, enfin, est constituée de silts argilo-sableux à structure massive. La fraction sableuse est fine (mode = 63 à 125  $\mu$ ). Ce dépôt se situe à la limite entre la suspension uniforme et la décantation (base du segment RS). On l'interprète comme un épandage de lit majeur. La diminution du pourcentage des sables (de 30 à 3 %) et de la teneur en CaCO<sub>3</sub> du sud/sud-ouest au nord/nord-est de la coupe, indiquent que la source rhodanienne s'est déplacée au sud du site étudié. En fait, il pourrait s'agir d'une séquence d'épandage récente (XVIII-XIX<sup>e</sup> siècle?)

### 2.3.2. Hypothèses chronologiques : un Rhône de la fin de l'Antiquité ?

Les séquences de la base de la coupe de Fiérouse (formation 1) ont livré un abondant matériel archéologique et des charbons de bois. Les tessons, peu roulés et de grosse taille, sont chronologiquement très homogènes et ont été attribués à l'Antiquité tardive (VI-VIII<sup>e</sup> siècle ap. J.C.). Ils sont associés à des débris osseux et ligneux très abondants. Dans la séquence supérieure, des blocs de molasse burdigalienne taillés, de forte taille, à peine déplacés, témoignent de la proximité d'un site habité, sans doute construit sur une levée de berge et balayé par une crue. La formation est donc contemporaine ou à peine postérieure à l'Antiquité tardive; elle est en tout cas antérieure aux roubines colmatées de l'époque Moderne qui la ravinent. Elle représenterait donc le sommet des alluvions du Rhône d'Umet, dont le fonctionnement débute au Néolithique.

La succession des séquences de crue, remaniant un matériel archéologique homogène, témoigne d'inondations récurrentes, affectant le même site archéologique pendant une période assez brève (un siècle ou deux ?); elle implique vraisemblablement une recrudescence de l'activité fluviale. Mais la charge sédimentaire est caractérisée par des indices sédimentologiques (fig. 4a) et un mode de la fraction sableuse proches de ceux des milieux équivalents du Rhône actuel. Seule la position de ces dépôts sur l'image C/M (fig. 4b) témoigne d'un hydrodynamisme plus élevé.

## 2.4. Le Bras de Fer (fig. 5)

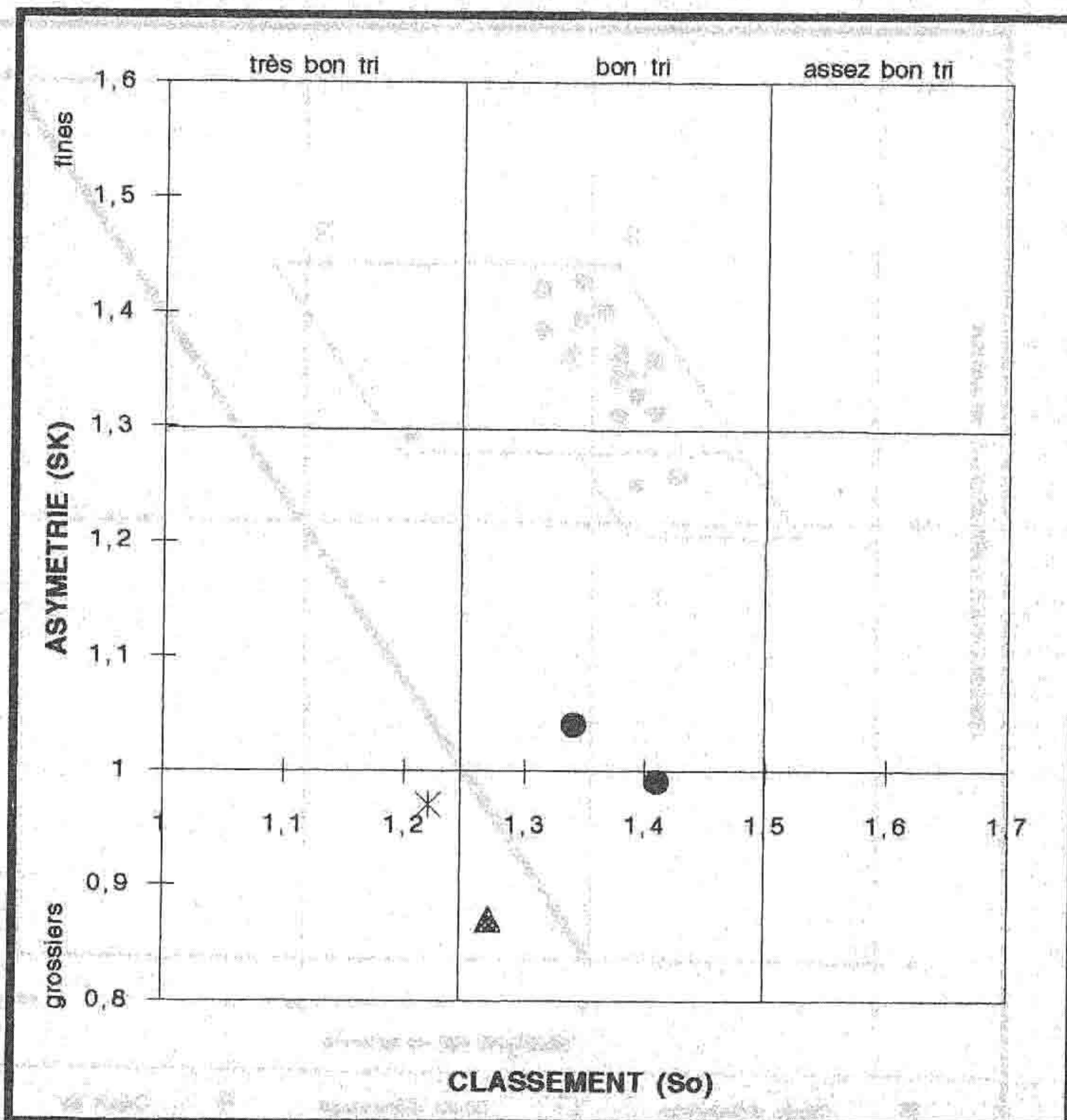


Fig. 5a - IMAGE So/SK DES DÉPÔTS DU BRAS DE FER  
Cf. légende fig 3.

Ce bras est emprunté par le fleuve de 1587 à 1711; sa trace au sol reste parfaitement visible sur les images aériennes. Au nord du Mas de Saint-Bertrand, les berges d'une roubine ont permis d'échantillonner dans les dépôts d'un de ses méandres.

La montille de Saint-Bertrand, orientée est-ouest, repose sur une formation sablo-limoneuse brune, dont la granularité décroît vers le nord-ouest, selon un transect perpendiculaire à la rive convexe du paléoméandre. Sous la montille, les sables limoneux, bien que ne présentant aucune stratification apparente, pourraient correspondre à un dépôt de levée de berge. En effet, leur grossièreté (82,3 % de sables, mode 200  $\mu$ ) et leur asymétrie négative (enrichissement en éléments plus grossiers, souvent lié à des projections en bordure du lit mineur) évoquent, dans le contexte du delta du Rhône, des conditions hydrodynamiques très énergiques (fig. 5a). Leur position sur le diagramme C/M (segment QR, suspension graduée) pourrait confirmer cette hypothèse (fig. 5b). Vers le nord-ouest, dans l'axe du paléoméandre, la granulométrie du dépôt décroît : la fraction sableuse est moins abondante (de 32 à 54 %) et plus riche en sables fins (mode = 100 à 160  $\mu$ ). Le dépôt est ici lié à une suspension uniforme de forte

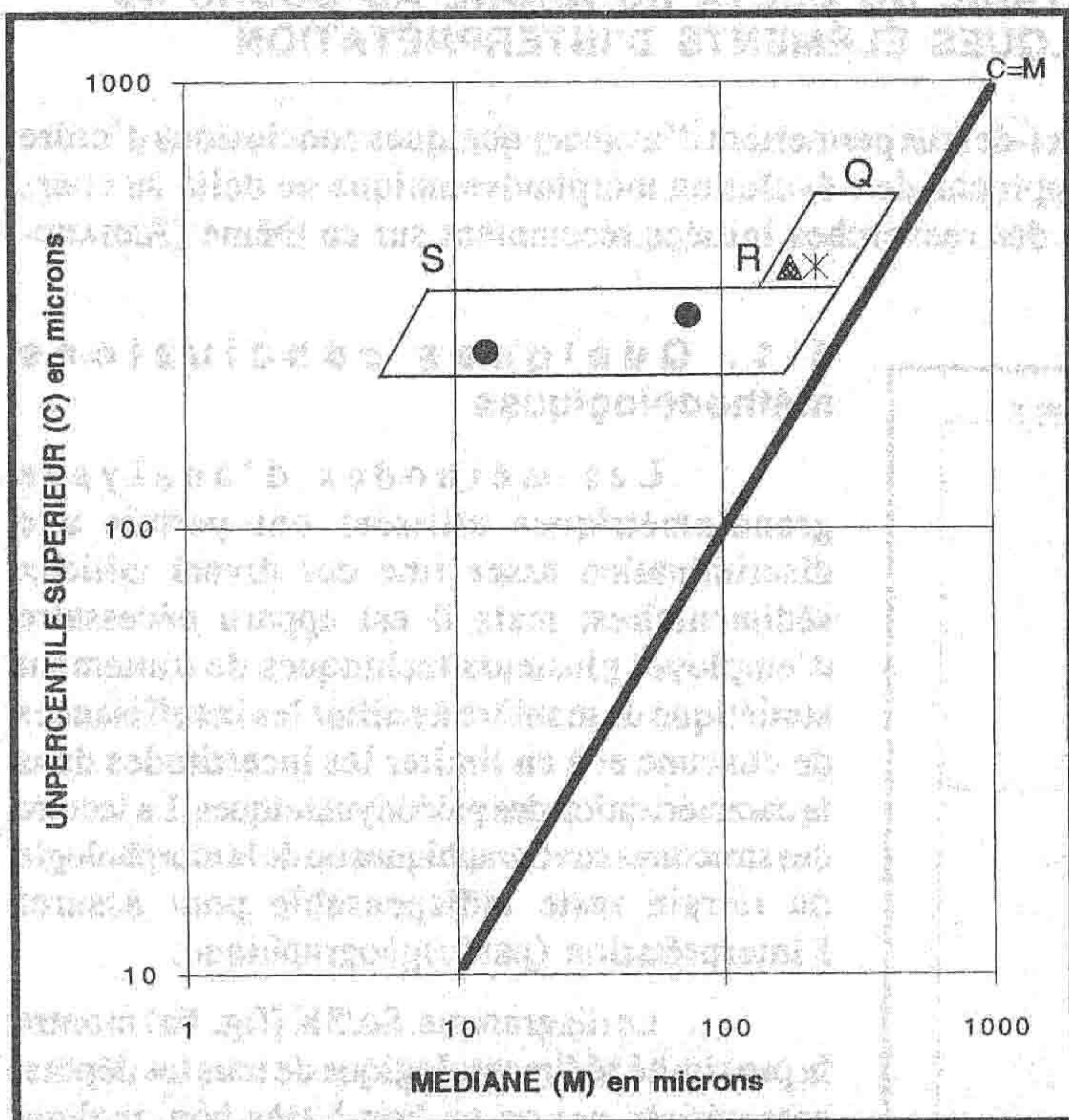


Fig. 5b - IMAGE GRANULOMÉTRIQUE C/M DES DÉPÔTS DU BRAS DE FER. Cf. légende Fig. 3.

donc la deuxième hypothèse : il s'agirait de sables d'une levée de berge proche remaniés par le vent. Il faut supposer que la levée de berge est alors déboisée (banc sableux actif ou mis en culture ?). La dune serait alors contemporaine ou à peine postérieure au Rhône du Bras de Fer.

La grossièreté des dépôts du Bras de Fer, observée sur une levée de berge et dans le colmatage du chenal, n'est pas comparable à celle des dépôts d'épandage du Rhône d'Ulmet car ce ne sont pas les mêmes milieux de dépôt ; mais elle est supérieure à celle des levées de berge du Rhône actuel. Le fleuve traverse ici une zone où abondent d'anciens cordons littoraux fossiles : il se peut donc que certains de ces cordons aient subi un remaniement par les eaux du fleuve. Mais le contexte climatique du fonctionnement de ce bras et l'anthropisation de son bassin versant jouent vraisemblablement un rôle, sur lequel nous reviendrons plus loin.

## 2.5. Conclusion

De cette première comparaison sommaire entre les dépôts du Rhône actuel et ceux de deux paléochenaux rhodaniens on retiendra les points suivants :

- La sédimentation fluviale du Rhône dans son delta est caractérisée, à milieu fluvial équivalent, par des variations granulométriques importantes au cours des deux derniers millénaires : l'hydrodynamisme et la nature de la charge solide ont varié au cours du temps.
- Les séquences étudiées sont les plus récentes pour chaque paléochenal dont elles illustrent la phase finale du fonctionnement. Ainsi, pour le Rhône d'Ulmet, les dépôts reflètent le comportement du fleuve au cours ou à la fin de l'Antiquité tardive, alors qu'on sait que ce bras existe depuis le Néolithique. Dans le cas du Bras de Fer, on peut émettre l'hypothèse que les formations observées correspondent aux dernières décennies antérieures à 1711.
- La conservation et la lecture en termes dynamiques des sédiments fluviaux est variable selon les milieux fluviaux. Le lit majeur est, à cet égard, plus propice à l'enregistrement du temps fossilisé ; mais ses dépôts, dont la grossièreté varie beaucoup avec l'éloignement des berges, permettent difficilement une évaluation des conditions hydrodynamiques et n'ont pas une signification morphoclimatique très précise.
- La représentativité dynamique d'une séquence est inversement proportionnelle à la durée d'écoulement d'un bras, puisque le rapport « temps fossilisé/temps dynamique » est d'autant plus fin que le temps dynamique est court. Les dépôts du Bras de fer, qui ne fonctionnent que sur une période assez brève (124 ans), s'avèrent à cet égard plus aptes à permettre la reconstitution assez fine de l'environnement climato-anthropique du fleuve.

énergie (sommet du segment RS du diagramme C/M, fig. 5b) ; il pourrait correspondre au sommet du colmatage du chenal, à la fin de la crue qui entraîne la défluviation de 1711.

La montille est formée de sables meubles dont le mode (200  $\mu$ ) est proche de ceux de la levée de berge sous-jacente. Leur tri, leur stratification en épis orientés (NW-SE) les désignent sans conteste comme une formation d'origine éolienne, ce que confirme la forme et la disposition générale de la montille : il s'agit bien d'une dune fossile. On peut s'interroger sur les conditions de mise en place de cette accumulation sableuse, dont la présence est assez singulière sur une berge d'un bras rhodanien : elle surmonte en discordance les sédiments fluviaux et il est donc exclu qu'elle puisse représenter l'affleurement d'un ancien cordon dunaire littoral. Partant, ce dépôt provient du remaniement d'un stock de sables situé plus au nord qui peut être soit un cordon littoral fossile, soit une levée de berge. La première hypothèse semble la moins vraisemblable : elle suppose un transport des sables sur au moins 2 km et, surtout, une dune originelle fossile non recouverte de végétation. On privilégiera

### 3 - ÉVOLUTION MORPHOSÉDIMENTAIRE DU DELTA DU RHÔNE AU COURS DE L'HOLOCÈNE RÉCENT. QUELQUES ÉLÉMENTS D'INTERPRÉTATION

Les analyses sédimentaires présentées ci-dessus permettent d'avancer quelques conclusions d'ordre méthodologiques puis de tenter une première approche de l'évolution morphodynamique du delta au cours de la période historique, dans le prolongement des recherches initiées récemment sur ce thème (ARNAUD-FASSETTA, 1993).

#### 3.1. Quelques conclusions méthodologiques

Les méthodes d'analyses granulométriques utilisées ont permis une discrimination assez fine des divers milieux sédimentaires; mais il est apparu nécessaire d'employer plusieurs techniques de traitement statistique de manière à pallier les insuffisances de chacune et à en limiter les incertitudes dans la caractérisation des paléodynamiques. La lecture des structures stratigraphiques ou de la morphologie du terrain reste indispensable pour assurer l'interprétation (paléo)géographique.

Le diagramme So/SK (fig. 6a) montre la proximité sédimentologique de tous les dépôts, caractérisés par un tri bon à très bon quelque soit le milieu de sédimentation. Les trois bras étudiés ne se différencient pas par leur classement, mais par leur position sur l'axe d'asymétrie, reflétant, par exemple, la présence d'une charge plus grossière au sein des apports du Bras de Fer.

L'utilisation des images C/M suscite quelques critiques : d'une part certains dépôts ont leur image inscrite sur deux segments différents, d'autre part à chaque segment correspondent plusieurs types de dépôt : aucun milieu fluvial n'est représentatif à lui seul d'un segment de l'image, ce qui rend plus difficile leur interprétation dans la sédimentation des paléochenaux. On observe néanmoins une répartition significative des points entre le Bras de Fer, caractérisé par des dynamiques élevées, le Rhône d'Ulmet en position intermédiaire et le Rhône actuel dont les dépôts témoignent de dynamiques plus médiocres (fig. 6b). Les diagrammes C/M s'avèrent donc un outil utile mais parfois imprécis : ils proposent une distribution trop simplificatrice des dynamiques sédimentaires fluviales pour un milieu aussi complexe qu'un grand delta.

Il apparaît, enfin, souvent difficile de faire la part entre le rôle de paramètres environnementaux locaux (proximité ou éloignement du chenal principal, remaniements de berge, effets de rive concave-convexe dans les méandres, reprises de stocks sédimentaires hérités, etc...) et la modification des dynamiques hydrosédimentaires, liées à l'évolution morphodynamique générale du bassin-versant rhodanien. En d'autres termes, quelles peuvent être les causes des variations granulométriques,

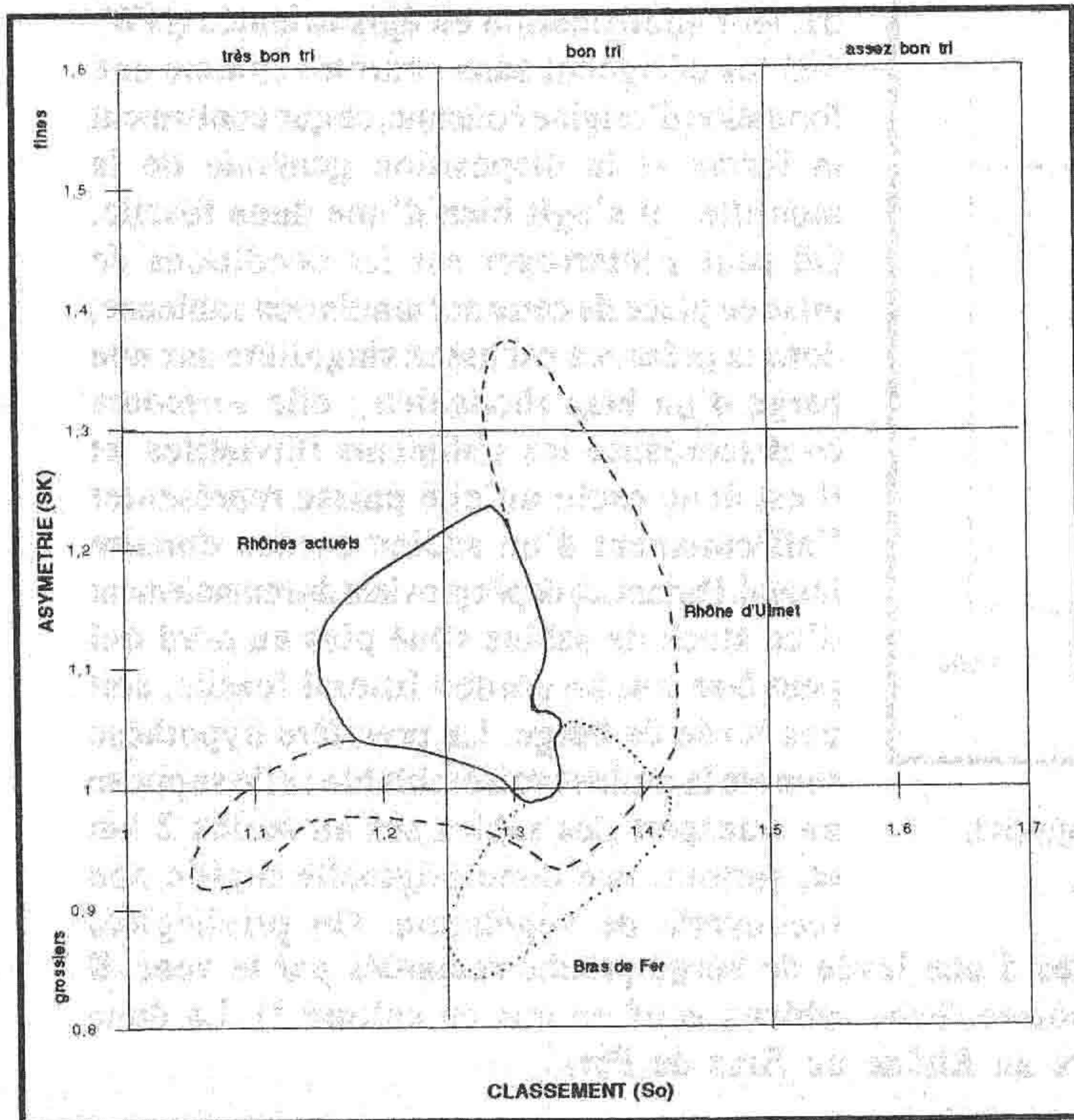


Fig. 6a - IMAGE So/SK DES DÉPÔTS DE TROIS BRAS RHODANIEN (Rhône d'Ulmet, Bras de Fer et Rhônes actuels).

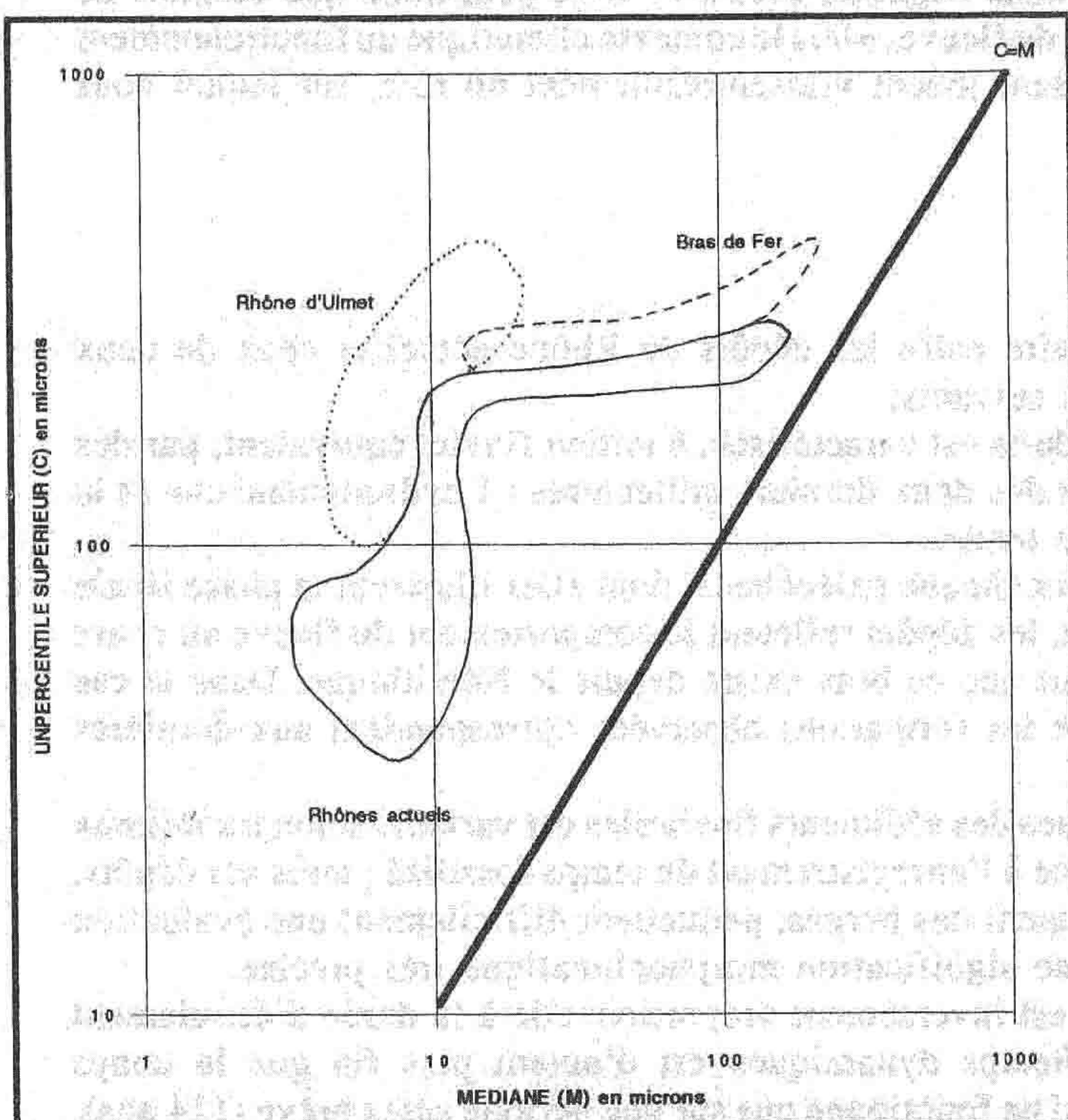


Fig. 6b - IMAGE GRANULOMÉTRIQUE C/M DE TROIS BRAS RHODANIEN (Rhône d'Ulmet, Bras de Fer et Rhônes actuels).



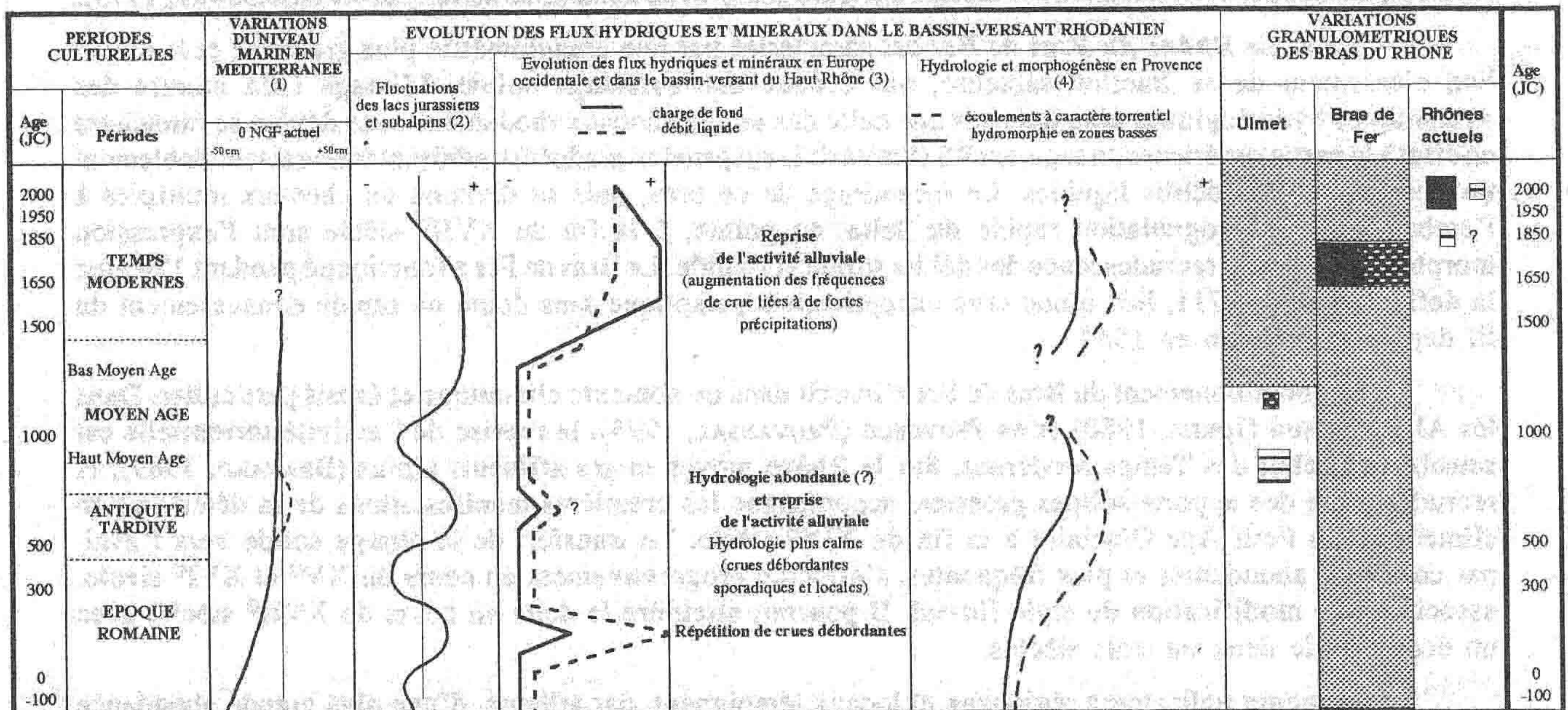
à milieux fluviatiles équivalents, au cours du dernier millénaire ? La comparaison, à milieu fluvial équivalent, entre les différents chenaux rhodaniens montre d'importantes variations des dynamiques hydrologiques et sédimentaires. Elles permettent d'esquisser une histoire de la construction deltaïque depuis un peu plus d'un millénaire.

### 3.2. Mutations fluviales et construction deltaïque depuis la fin de l'Antiquité (fig. 7 et 8)

Située à l'interface entre le milieu marin et un très vaste bassin-versant, la construction deltaïque rhodanienne s'effectue sous la double contrainte des variations relatives du niveau de base et des changements de la dynamique hydro-sédimentaire du fleuve.

Les recherches menées sur les cordons littoraux fossiles du delta (DUBOUL-RAZAVET, 1956; BASILE *et al.*, 1986; L'HOMER, 1981 et 1987) et sur le littoral provençal (PROVANSAL, 1991; MORHANGE, à paraître) mettent en évidence une montée du niveau marin au cours du premier millénaire après J-C. L'amplitude du mouvement varie en fonction de la stabilité du sol, de 40 cm (Marseille) à 3 m (Fos); il atteint une altitude proche de l'actuelle au V<sup>e</sup>-VI<sup>e</sup> siècle à Fos et à Marseille et passerait peut-être par une position plus élevée au XI<sup>e</sup> siècle en Camargue occidentale. Les littoraux fossiles du delta dessinent en outre les étapes de la progradation deltaïque : depuis 2000 ans, le littoral se déplace vers le sud en affectant des tracés variables (en patte d'oie, pointu, lobé). Le delta du Rhône s'est ainsi situé successivement dans différentes catégories de la classification des deltas selon W.E. GALLOWAY (1975). Ces variations verticales et spatiales du trait de côte jouent un rôle essentiel sur le profil en long du fleuve et sa capacité d'évacuer sa charge sédimentaire.

Par ailleurs, l'évolution climatique et l'histoire de l'occupation du sol dans le bassin rhodanien induisent depuis 2000 ans une variabilité des flux hydriques et minéraux. On sait que les crues jouent un rôle déterminant dans l'alimentation sédimentaire de la plaine alluviale. Leurs apports répétés exhausent le lit, favorisant les défluviations et la division en bras multiples entre les bancs de sable déposés à l'embouchure. Si le transit des matières en suspension (argiles, limons) est rapide, le déplacement de la charge plus grossière (des sables moyens au ballast) s'effectue progressivement avec un décalage estimé à 2 ou 3 siècles pour quelques centaines de km (BRAVARD, 1992). Son enregistrement dans la plaine de niveau de base, implique donc, outre une recrudescence de l'érosion des sols en amont, un renforcement durable de l'hydrologie, caractérisé par des épisodes efficaces et nombreux. Il est donc nécessaire de tenir compte de l'ensemble de ces paramètres pour interpréter les mutations de la charge sédimentaire et du style fluvial du Rhône dans son delta.



(1) D'après L'homer (1981), Morhange (1993) et Provansal (1992).  
 (2) D'après Magny (1992).  
 (3) D'après Bravard (1992).  
 (4) D'après Provansal (1992).

Types de dépôt  
 ■ levée de berge  
 □ épannage  
 ▣ colmatage de chenal

Tendance granulométrique (moyenne par type de dépôt)  
 □ fine  
 □ assez grossière  
 □ grossière

Fig. 7 - CORRELATIONS ENTRE LES VARIATIONS BATHYMÉTRIQUES EN MÉDITERRANÉE, L'ÉVOLUTION DES FLUX HYDRIQUES ET MINÉRAUX DANS LE BASSIN-VERSANT RHODANIEN ET L'ÉVOLUTION GRANULOMÉTRIQUE DE TROIS BRAS DU DELTA DU RHÔNE.

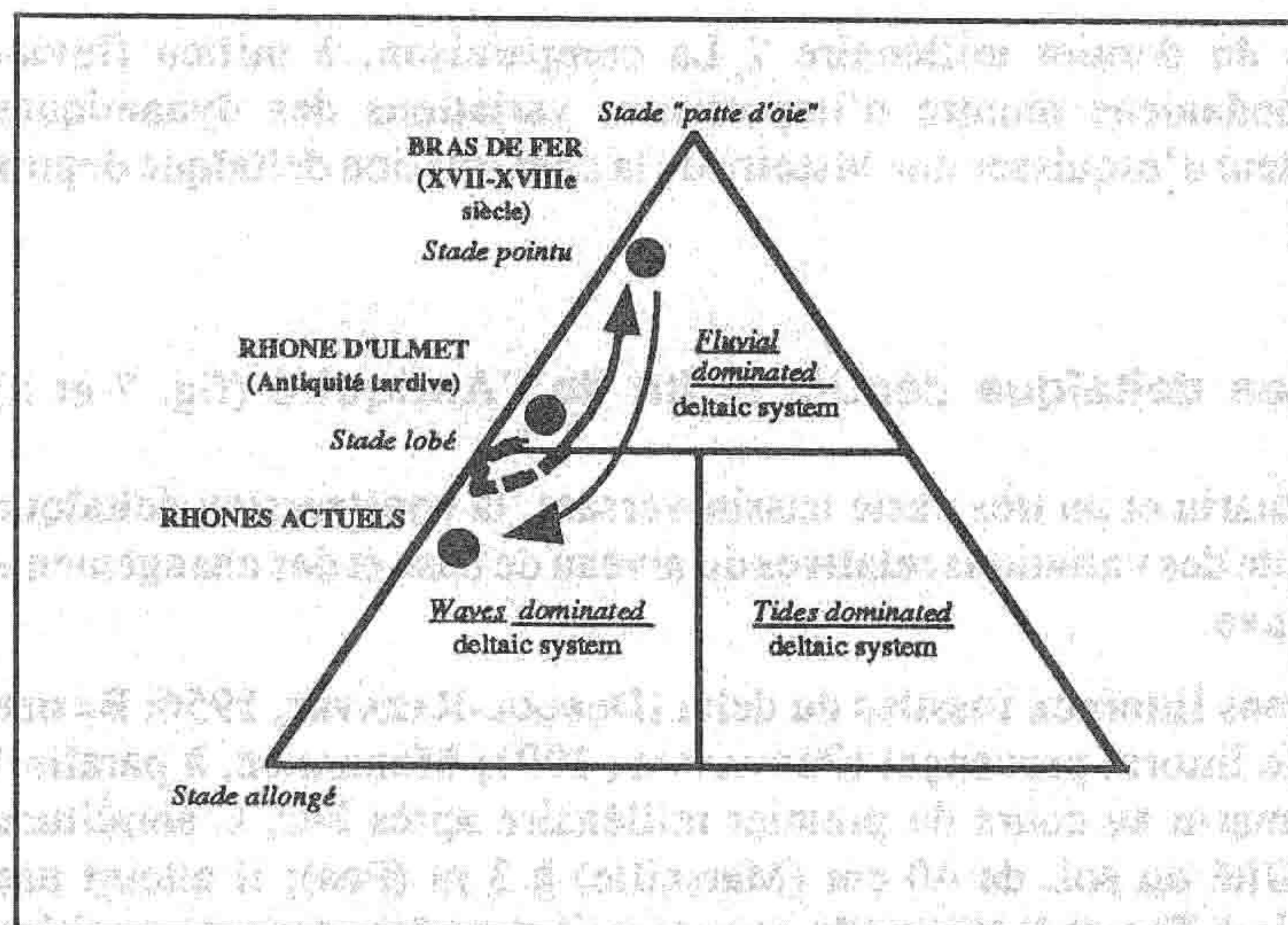


Fig. 8 - ÉVOLUTION DU «SYSTÈME DELTAÏQUE RHODANIEN» D'APRÈS LA CLASSIFICATION TRIANGULAIRE DE GALLOWAY (1975)

talwegs, en Provence (PROVANSAL, 1992) et dans les Alpes du sud (JORDA, 1992). En basse Provence, la remontée des plans d'eau et du système phréatique, sensible dans les cuvettes endoréiques à la fin de l'Antiquité (PROVANSAL, 1992), pourrait correspondre à un épisode climatique plus humide. Cette pulsation plus humide est d'ailleurs également enregistrée, en Europe occidentale, par les lacs alpins et jurassiens, dont le niveau s'élève entre le V<sup>e</sup> et le IX<sup>e</sup> siècle (MAGNY, 1992). Mais le Rhône moyen ne subit au même moment qu'une médiocre reprise de l'activité fluviale (BRAVARD, 1992). Les dépôts du Rhône d'Ulmet pourraient donc refléter une hydrologie un peu plus abondante, dont les effets géomorphologiques sont surtout sensibles dans les régions méditerranéennes, sans affecter le bassin rhodanien dans son ensemble.

La sédimentation dans le delta lui-même est, en outre, renforcée par la montée du niveau marin qui engorge l'embouchure du fleuve. Les cordons littoraux fossiles indiquent d'ailleurs une progradation littorale modeste au cours de cette période à l'embouchure du bras d'Ulmet (L'HOMER, 1981). Le mouvement eustatique joue là peut-être un rôle important, mais on peut aussi avancer l'hypothèse que la charge solide, riche en limons, soit plus facilement exportée en mer, sans profit pour l'alimentation des plages et cordons littoraux. Le delta se situerait alors à la limite inférieure des «*fluvial dominated delta system*» (GALLOWAY, 1975).

**3.2.2. Le Rhône du Bras de Fer** est caractérisé par une granulométrie plus grossière et le moins bon classement de sa fraction sableuse, qui évoque une surcharge solide. L'image C/M montre des dynamiques hydrologiques plus intenses que celle des autres chenaux rhodaniens : ses dépôts se rattachent en effet à la partie supérieure du segment RS (limite de la suspension graduée) traduisant très vraisemblablement un gonflement des débits liquides. Le méandrage de ce bras, puis sa division en chenaux multiples à l'embouchure, la progradation rapide du delta, en pointe, à la fin du XVII<sup>e</sup> siècle sont l'expression morphologique de la recrudescence des débits solide et liquide. Le Bras de Fer a fonctionné pendant 124 ans; la défluviation de 1711, liée à une crue exceptionnelle, implique sans doute un rapide exhaussement du lit depuis sa création en 1587.

Le fonctionnement du Bras de Fer s'inscrit dans un contexte climatique et érosif particulier. Dans les Alpes du sud (JORDA, 1980) et en Provence (PROVANSAL, 1993), la reprise de l'activité torrentielle est sensible au début des Temps Modernes. Sur le Rhône moyen et ses affluents alpins (BRAVARD, 1989), la recrudescence des apports solides grossiers accompagne les premières manifestations de la détérioration climatique du Petit Age Glaciaire à la fin du XIV<sup>e</sup> siècle. Le transfert de la charge solide vers l'aval, par des crues abondantes et plus fréquentes, s'effectue progressivement au cours du XV<sup>e</sup> et XVI<sup>e</sup> siècle, associé à une modification du style fluvial. Il pourrait atteindre le delta au cours du XVII<sup>e</sup> siècle, avec un décalage de deux ou trois siècles.

Plusieurs indicateurs régionaux et locaux témoignent, par ailleurs, d'une plus grande abondance hydrologique : fluctuations positives des lacs alpins (MAGNY, 1992), remontée des plans d'eau et des systèmes phréatiques en Provence (PROVANSAL, 1993). La fréquence des vendanges tardives (LE ROY LADURIE, 1983) confirme, enfin, l'occurrence plus importante d'étés pluvieux, dont on peut penser qu'ils accroissent le coefficient d'écoulement des pluies automnales.

La conjonction de l'arrivée décalée de la charge solide d'origine alpine, sans doute augmentée par l'anthropisation croissante du bassin-versant, et d'une augmentation des débits liquides serait à l'origine des caractères sédimentaires originaux du Bras de fer. Elle provoque une rapide avancée du delta qui se

**3.2.1. A la fin de l'Antiquité romaine, (VI-VIII<sup>e</sup> siècle),** le lit majeur proximal du Rhône d'Ulmet enregistre plusieurs épisodes d'inondation qui accumulent plus d'un mètre de limons en un siècle ou deux.

A milieu fluvial équivalent, ces dépôts sont moins bien classés que ceux du Rhône actuel et suggèrent soit des dynamiques hydrologiques atténuées, donc moins sélectives, soit une charge solide plus abondante, modifiant le rapport entre la charge et les débits. L'image C/M conforte la deuxième hypothèse puisqu'elle montre que ces dépôts ont été mis en place par des courants tractifs (segment RS) à compétence plus élevée que ceux du Rhône actuel. Les dépôts du Rhône d'Ulmet refléteraient donc des débits liquide et solide plus importants que ceux du Rhône actuel. Ces épisodes répétés de crues coïncident avec la réapparition d'une activité de type torrentielle dans les

situé alors dans le type *bird foot* ou *lobate* de la classification de GALLOWAY. On peut évoquer ici une « métamorphose fluviale » c'est-à-dire « un changement durable de l'expression morphohydrologique du fonctionnement » (BRAVARD, 1992).

**3.2.3 Le Rhône actuel**, dont 90 % du débit liquide transite par le Grand Rhône, est caractérisé par les dépôts les mieux classés, ce qui peut être mis en relation avec une charge fluviale très en deçà des capacités de transport du fleuve. Sur l'image C/M, ses dépôts témoignent à la fois d'une dynamique élevée en bordure du lit mineur, à proximité d'un flux concentré par les endiguements, et de l'importance des milieux calmes dans le champ d'inondation proche. Il aboutit à un littoral en recul, qui situe le delta dans les « *wave dominated high destructiv delta system* » de GALLOWAY. Le style fluvial à plusieurs bras divagants du XVII-XVIII<sup>e</sup> siècle a cédé la place à un chenal rectiligne, dont les iscles sableux sont très réduits.

Cette évolution est déterminée par les aménagements du fleuve (retenues, digues, « détournement » de la Durance) et par l'évolution géomorphologique récente des « géosystèmes alpins et provençaux ». Le rôle des aménagements récents dans le bassin-versant et sur le fleuve est évident : la rétraction des terres agricoles réduit la charge solide et les barrages retiennent la fraction grossière des sédiments. La charge solide sur le Grand Rhône est ainsi passée en un siècle de  $17.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  à  $5.10^6 \text{ m}^3/\text{an}$  (Rapport Camargue, 1970), soit un rapport de 1 à 3,4. La décantation du matériel grossier dans les réservoirs des barrages a réduit la granulométrie des dépôts. Par ailleurs, les dynamiques torrentielles, qui avaient atteint une très forte intensité, dans un contexte de surpeuplement rural, à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle dans les sous bassins-versants méditerranéens sont en cours d'extinction totale. Au XX<sup>e</sup> siècle, le reboisement, l'abandon des terres sur les versants en pentes fortes ont entraîné une maîtrise progressive de l'érosion des versants. Ces modifications entraînent, depuis quelques décennies, une nouvelle métamorphose fluviale du Rhône dans son delta, essentiellement d'origine anthropique.

## CONCLUSION

Nous avons vu que l'étude sédimentologique des paléochenaux rhodaniens a permis de retracer l'évolution de l'environnement deltaïque et d'appréhender quelques événements majeurs du fonctionnement du bassin-versant depuis la fin de l'époque romaine.

La lecture et l'interprétation des sédiments fluviaux s'est révélée complexe pour trois raisons, qui justifient la poursuite et l'affinement de ces recherches :

- les milieux de sédimentation fluviale sont plus ou moins favorables à la conservation de leur caractéristiques morphologiques et sédimentaires originelles. La sédimentation dans la plaine d'inondation est plus propice à la conservation des séquences alluviales alors que les levées de berge sont le plus souvent amputées de leur dépôts supérieurs, entraînant une perte d'information qui complique alors l'interprétation morphodynamique des séquences alluviales. L'enregistrement du « temps dynamique » est donc fonction du type de milieu de sédimentation;
- la disposition des bras du Rhône a changé, entraînant des modifications de la partition des débits, par là même de la répartition des apports sédimentaires. La distribution des milieux sédimentaires étudiés dépend donc aussi des conditions hydrodynamiques locales, parmi lesquelles la proximité par rapport au chenal principal joue un rôle essentiel.

Le Rhône dans son delta a subi plusieurs mutations induites à la fois par l'histoire hydro-sédimentaire de son bassin-versant et par les positions variables du niveau de base marin. Trois combinaisons ont été mises en évidence :

- A la fin du premier millénaire, la montée du niveau marin amplifie, dans le delta, les effets d'une « crise » hydrologique sensible sur l'ensemble du bassin-versant, mais dont l'impact érosif est surtout sensible sur les affluents méditerranéens.
- A la fin du XVII<sup>e</sup> siècle, le delta subit une « métamorphose », liée à une crise de longue durée, hydrologique et détritique, affectant l'ensemble du bassin rhodanien, et dont les effets sont certainement aggravés par une anthropisation croissante. La plaine de niveau de base enregistre avec un décalage chronologique de deux siècles environ l'arrivée d'une charge solide grossière déplacée dans les bassins-versants alpins dès le début du Petit Age Glaciaire. Le delta connaît alors une progradation très rapide.
- Au XX<sup>e</sup> siècle enfin une nouvelle « métamorphose » se dessine, d'origine essentiellement anthropique, dont les implications sur le recul actuel du rivage sont très importantes.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALOISI J.C. et DUBOUL-RAZAVET C., (1974).- Deux exemples de sédimentation deltaïque actuelle en Méditerranée : les deltas du Rhône et de l'Ebre, *Bull. Cent. Rech. Pau., S.N.P.A.*, 8, 1, p. 227-240.
- ARNAUD-FASSETTA G., (1993).- *Etude géomorphologique du delta du Rhône : évolution holocène des milieux de sédimentation fluviales*, mémoire de D.E.A, Université d'Aix-Marseille I, 157 p.
- BAZILE F., BAZILE-ROBERT E., DEBARD E. et GUILLEROT P., (1986).- Le Pléistocène terminal et l'Holocène en Languedoc rhodanien; domaines continental, littoral et marin, *Rev. de Géol. dyn. et de Géogr. Phys.*, 27, 2, p. 95-103.
- BRAVARD J.P., (1983).- Le Haut-Rhône français : dynamique naturelle et impacts des travaux d'aménagement d'un fleuve et de sa vallée, *Bull. Labo. Rhod. de Géomorph.*, 17-18, p. 17-24.
- BRAVARD J.P., (1989).- La métamorphose de rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Age et à l'époque Moderne. *Bulletin de la société géographique de Liège*, 25, p. 145-157.
- BRAVARD J.P., VEROT-BOURRELY A. et SALVADOR P.G., (1992).- Le climat d'après les informations fournies par les enregistrements sédimentaires fluviales étudiés sur des sites archéologiques, *Les nouvelles de l'Archéologie*, 50, p. 7-14.
- CARRIO C., (1988).- *Contribution à l'étude dynamo-sédimentaire du delta rhodanien et du processus d'émergence de la plaine deltaïque associée (exemple de la Palissade, Camargue, France)*, Thèse, Université d'Aix-Marseille 1, 359 p.
- DENIZOT G., (1959).- Le rivage de Provence au temps des Ligures : 2. Les Bouches-du-Rhône et la côte languedocienne, *Rev. d'Etudes Ligures*, p. 24-87.
- DUBOUL-RAZAVET C., (1956).- Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône, *Mém. de la Soc. Géol. Fr.*, 76 : 234 p.
- JORDA M., (1980).- Morphogenèse et évolution des paysages dans les Alpes-de-Haute-Provence depuis le Tardiglaciaire. Facteurs naturels et facteurs anthropiques, *Bull. Assoc. Géogr. Franç.*, 472, p. 296-304.
- JORDA M., (1992).- Morphogenèse et fluctuations climatiques dans les Alpes Françaises du sud de l'Age du Bronze au haut Moyen Age, *Les nouvelles de l'Archéologie*, 50, p. 14-21.
- KUMAR S. et SINGHT I.B., (1978).- Sedimentological study of Gomti River sediments, Uttar Pradesh, India. Example of a river in alluvial plain. *Senckenbergiana marit.*, 10, p. 145-211.
- GALLOWAY W.E., (1975).- Process framework for describing the morphologic and stratigraphic evolution of deltaic depositional system. «Deltas», Houston Geol. Soc., Broussard ed., p. 87-98.
- LE ROY LADURIE E., (1983).- *Histoire du climat depuis l'An Mil*. Flammarion, Paris, 2 vol., 287 p. et 254 p.
- L'HOMER A., BAZILE F., THOMMERET J. et THOMMERET Y., (1981).- Principales étapes de l'édification du delta du Rhône de 7000 BP à nos jours; variations du niveau marin, *Oceanis*, 7, 4, p. 389-408.
- L'HOMER A., (1987).- *Notice explicative de la carte géologique d'Arles au 1/50.000*, BRGM, 72 p.
- MORHANGE CH., (1994).- *La mobilité récente des littoraux provençaux. Approche méthodologique*, Thèse, Université de Provence, Aix-en-Provence.
- PASSEGA R., (1964).- Grain size representation by C.M. patterns as a geological tool. *J. Sediment. Petrol.* 41. 9, p. 1952-1984.
- PEIRY J.L., (1988).- *Approche géographique de la dynamique spatio-temporelle des sédiments : l'exemple de la plaine alluviale de l'Arve, Haute-Savoie*, Thèse, Université Lyon 3, 478 p.
- PROVANSAL M., (1991).- Variations du trait de côte en Provence depuis 5000 ans. Quelques données nouvelles, *Méditerranée*, 4, p. 15-22.
- PROVANSAL M., (1992.-) Le rôle du climat dans la morphogenèse à la fin de l'Age du Fer et dans l'antiquité en Basse Provence, *Les nouvelles de l'Archéologie*, 50, p. 21-27.
- PROVANSAL M., (1993).- *Détritisme, anthropisation et histoire du climat à l'Holocène en basse Provence : morphodynamique du polyé de Signes (Var) comparée à quelques sites provençaux*. Travaux de l'URA 903 CNRS, n° XXII, p. 43-52.
- RAPPORT CAMARGUE, (1970).- *D.D.A et C.N.A du Bas-Rhône et du Languedoc, Arles*.
- SCHUMM S.A., (1977).- *The fluvial systems*, J. Wiley and sons ed., New-York, 338 p.