

Le rôle du fleuve : les formations alluviales et la variation du risque fluvial depuis 5 000 ans

GILLES ARNAUD-FASSETTA

1. Introduction

Depuis Desjardins (1866), les recherches paléohydrographiques en Camargue ont permis d'élaborer une cartographie des paléochenaux rhodaniens et de préciser leur chronologie (Kruit 1955 ; Van Andel 1955 ; Duboul-Razavet 1956 ; Oomkens 1970 ; Bouteyre *et al.* 1970 ; Pons, Toni, Triat 1979 ; L'Homer *et al.* 1981). En revanche, les études paléohydrologiques n'ont abordé que très rarement la question de la variabilité de la dynamique fluviale au cours de l'Holocène récent, alors que celle-ci était décrite depuis les années 1980 dans la haute vallée du Rhône, par le biais d'un dialogue interdisciplinaire entre archéologues, historiens, géomorphologues et paléocéologues (Bravard 1983 ; 1987 ; 1989 ; 1991 ; Bravard, Amoros, Jacquet 1986 ; Peiry 1988 ; Bravard, Vérot-Bourrély, Salvador 1992 ; Bravard *et al.* 1990 ; 1997 ; Salvador 1991 ; Salvador *et al.* 1993). Une première périodisation du fonctionnement hydrologique du haut Rhône fut proposée et la nature climatique ou anthropique des « crises » hydro-sédimentaires discutée, discussion qui s'est étendue ensuite à la moyenne vallée du Rhône (Berger 1996).

Restait à établir un modèle de fonctionnement hydrologique dans la basse vallée. Ce travail a été entrepris dans le cadre du programme collectif de recherche « delta du Rhône », à travers l'étude fine des stratigraphies alluviales, afin de comprendre dans quel contexte environnemental s'étaient installés les occupants du delta (Arnaud-Fassetta 1998 ; 2000). Les objectifs de ce texte sont de préciser les modalités de la dynamique du Rhône dans sa plaine deltaïque entre 1500 av. et 1500 ap. J.-C. puis de discuter de l'impact des fluctuations hydrologiques sur la dynamique de l'occupation du sol.

1.1. Les méthodes utilisées pour reconstituer les paléoenvironnements fluviaux

La paléohydrologie du delta du Rhône a été retracée à partir de l'étude des bras fossiles de Saint-Ferréol et d'Ulmet. Elle a été complétée par celle du site d'Arles (Arcelin *et al.* 1999).

1.2. La nature et la valeur des sites

Afin de détecter la variation des flux liquides et solides, plusieurs sites ont fait l'objet d'une analyse multi-critères combinant la géomorphologie, la sédimentologie, la paléocéologie et l'archéologie (fig. 1). D'une façon générale, leur diversité paléogéographique a permis de décrire des sites d'amont et d'aval, des sites de méandre ou de tracé fluvial rectiligne, en général à proximité immédiate des habitats d'époque romaine ou du haut Moyen Âge. Chaque site a fourni un enregistrement paléohydrologique dont la signification est soit locale, c'est-à-dire liée à un milieu fluvial particulier ou à un déplacement latéral du fleuve, soit générale, c'est-à-dire liée à une fluctuation des écoulements significative de l'histoire climatique et/ou anthropique du bassin-versant. Pour valider les résultats et en proposer une synthèse, nous avons comparé plusieurs sites contemporains et correspondant à des milieux fluviaux identiques, en privilégiant les plaines d'inondation, plutôt que les levées de berge où l'archivage stratigraphique est discontinu ou perturbé.

2. Les données utilisées

Les interprétations reposent sur le recoupement de plusieurs indicateurs bio-physiques.

2.1. Des données acquises à partir de coupes stratigraphiques et de carottages

Des transects perpendiculaires au tracé des paléochenaux ont été réalisés afin de prendre en compte l'ensemble des milieux de sédimentation d'un bourrelet alluvial. Sur ces transects, la stratigraphie a été analysée à partir de coupes observées par sondages ou de carottages profonds effectués en périphérie des sites archéologiques, de manière à retracer les conditions paléoenvironnementales antérieures aux sociétés fluviales ou contemporaines de leur développement. Les carottages profonds ont été effectués à l'aide d'un carottier à piston stationnaire, dans des milieux de sédimentation variés, en colla-

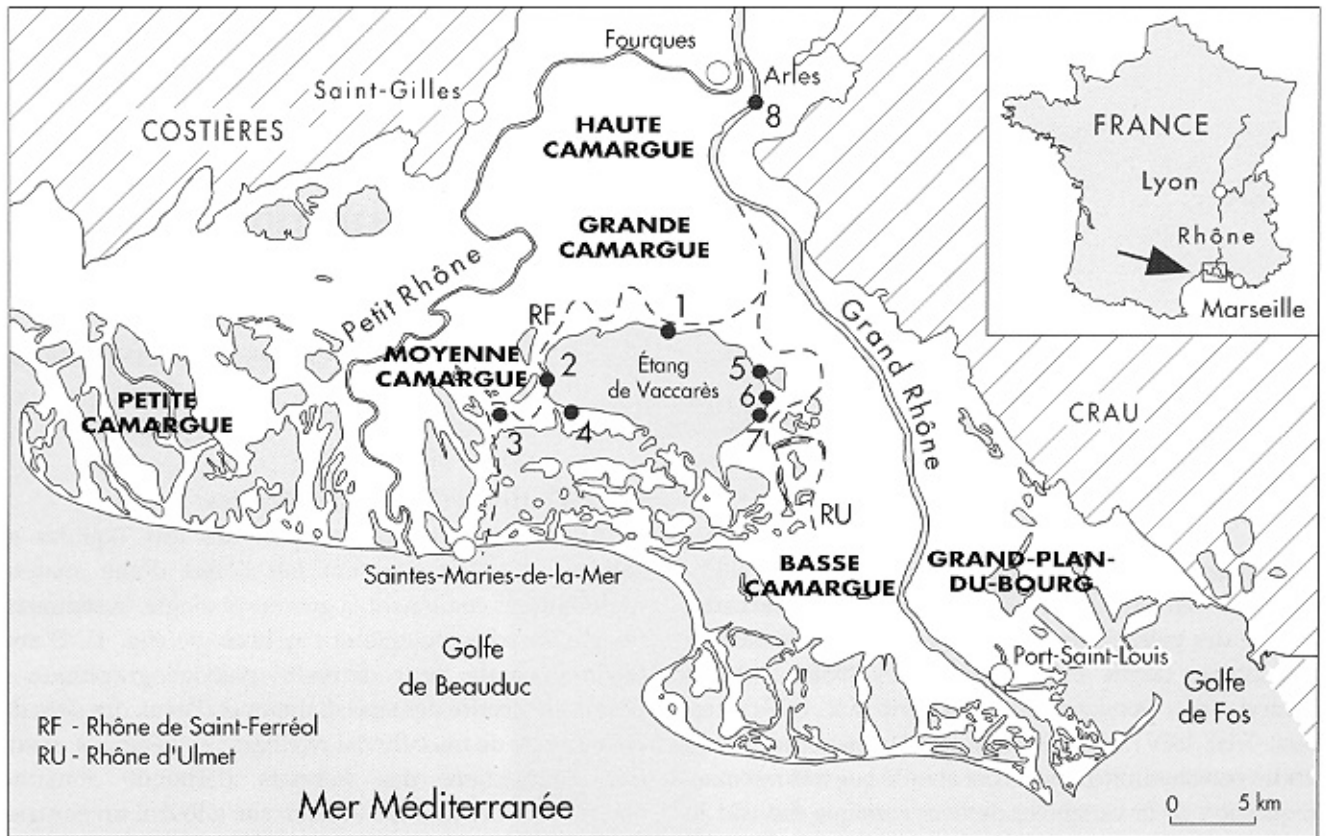


Fig. 1 – Localisation des sites étudiés dans le delta du Rhône.
1, Cabassole ; 2, le Carrelet ; 3, les Combettes ; 4, Mornès ; 5, le Pont Noir ; 6, la Capelière ; 7, Fumemorte.

boration avec M. Guillemard (Centre d'étude technique de l'Équipement d'Aix-en-Provence).

2.2. Les données géomorphologiques et sédimentologiques

La géomorphologie de la plaine deltaïque a été interprétée à partir des images satellitales et des photographies aériennes, permettant la réalisation des cartes géomorphologiques (1/50 000^e) et pédologiques (1/20 000^e) et des cartes géologiques (1/50 000^e) (L'Homer 1975 ; 1987 ; 1993 ; Colomb *et al.* 1975). Ces cartes nous ont permis de caractériser les milieux de sédimentation fluviales et leur évolution, en termes de métamorphose de la plaine alluviale, de vitesse d'accrétion dans la plaine d'inondation et de progradation du littoral (fig. 2 et 3). Les échantillons collectés dans plusieurs types de paléoenvironnement (chenal, levée, plaine d'inondation) ont fait l'objet d'une analyse granulométrique et structurale, afin de caractériser le milieu de sédimentation et la compétence des paléo-Rhône. La méthode de l'image CM (Passega 1957 ; Bravard 1983) a été utilisée de façon à appréhender la compétence moyenne et maximale du flux liquide et fournir une image synthétique des milieux de sédimentation. Les images CM établies à partir des sédiments fluviales actuels ont permis de « calibrer » les niveaux hydro-

logiques des Rhône fossiles (Arnaud-Fassetta 1996 ; Arnaud-Fassetta, Landuré 2003).

Si la granularité permet de caractériser la compétence du flux liquide, elle reste inefficace pour connaître les raisons des variations hydrodynamiques au cours du temps, qui peuvent être liées à un rapprochement/éloignement du fleuve et/ou à des variations hydroclimatiques régionales. Cette ambiguïté a été levée en comparant les résultats de plusieurs sites contemporains, situés dans des positions variables par rapport au chenal d'écoulement.

2.3. Les données biologiques

À l'exception des pollens, les données biologiques sont révélatrices de l'environnement du dépôt. Compte tenu des possibilités de remaniement des corps sédimentaires deltaïques détritiques du delta, il est parfois difficile de déterminer si elles reflètent une image du paléoenvironnement local ou un mélange d'apports lointains. Cette ambiguïté n'est toutefois pas la même selon le type de marqueur utilisé.

La malacologie

L'identification des mollusques continentaux ou marins a permis de restituer l'ambiance paléocéologique de certains milieux de sédimentation. Les faunes laguno-

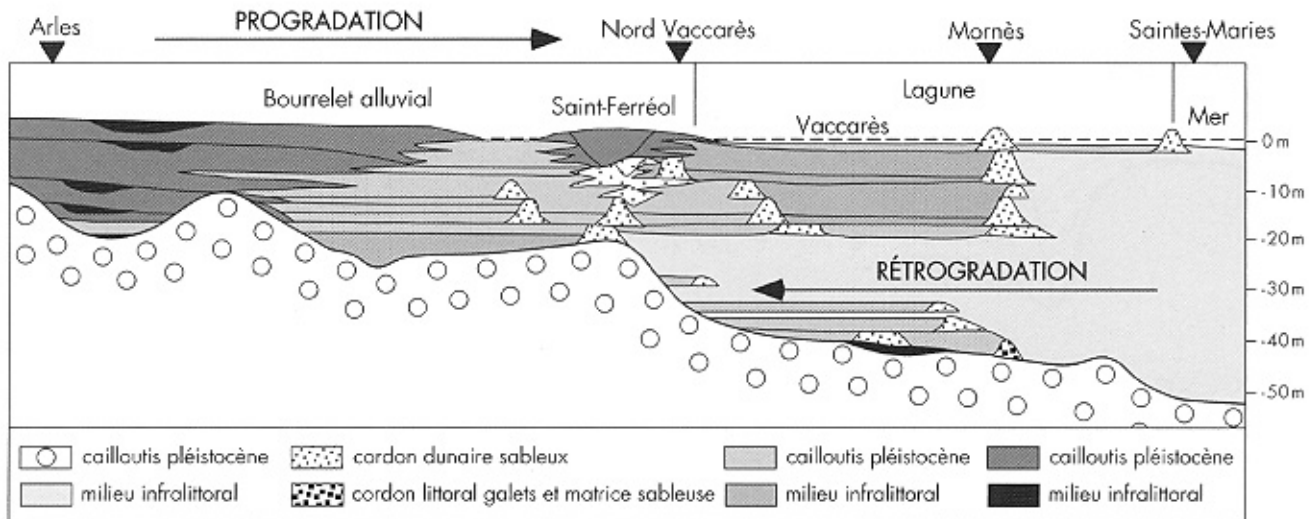


Fig. 2 - Les étapes de l'édification holocène du delta du Rhône (modifiée d'après Pons, Toni, Triat 1979).

marines ont été analysées par M. Bourcier (Station marine d'Endoume, Centre d'océanologie de Marseille), celles d'eau douce et terrestres par F. Magnin (Université Aix-Marseille 3, laboratoire de botanique et d'écologie méditerranéenne). À proximité de l'embouchure du Rhône, des espèces marines sur le fond du chenal sont liées à la remontée du coin salé ; leur présence dans les dépôts fluviaux peut alors rendre compte de la proximité du rivage à l'aval.

L'anthracologie

Menée par L. Chabal (Université de Montpellier ; Institut de botanique) pour l'essentiel sur le site du Carrelet, sur le bras fossile de Saint-Ferréol, l'étude anthracologique nous renseigne sur les écosystèmes proches, inclus dans le rayon de ramassage du bois. Mais le contexte fluvial complique leur interprétation car les bois flottés peuvent parfois provenir de ripisilves situées très en amont du delta. Globalement, l'importance de la contrainte édaphique n'autorise aucune interprétation paléoclimatique. L'anthracologie permet cependant d'appréhender la variété des écosystèmes présents dans le delta, sans pouvoir les localiser précisément. La diversité des milieux mise en évidence par l'anthracologie laisse supposer l'existence de biotopes variés et donne une image d'une topographie plus contrastée, mieux drainée qu'aujourd'hui (Arnaud-Fassetta, Chabal 1997).

La palynologie

Plusieurs sites se sont prêtés à l'analyse des pollens (le Carrelet, le Pont Noir). Les recherches ont bénéficié des travaux de Triat-Laval (1978) et de Pons, Toni, Triat (1979) aux Frignants, à Augery et Fos. Les diagrammes polliniques des carottes SF10 (le Carrelet) et Vaccarès III (le Pont Noir), établis par V. Andrieu (Université Aix-Marseille III) et J.-P. Suc (Université Lyon 1), illustrent

l'évolution des paysages végétaux depuis 6500 ans environ, complétant vers le haut le diagramme des Frignants, très proche dans l'espace. Deux problèmes doivent être mentionnés : d'une part, les pollens peuvent être issus de pluies polliniques d'origine régionale ; d'autre part, l'étude de Cambon *et al.* (1997) a montré que les apports hydrologiques de pollens étaient actuellement 400 fois plus abondants que les apports aériens à l'embouchure du Rhône. La palynologie n'est donc pas à l'abri de remaniements de vieux stocks sédimentaires provenant des levées de berge et/ou du fond du chenal (Arnaud-Fassetta *et al.* 2000).

2.4. Les données micro-morphologiques

Elles ont permis d'analyser, avec l'aide d'E. Verrecchia (Université de Bourgogne), l'évolution du taux de bioturbation dans la plaine d'inondation. La méthode a été testée sur une carotte (SF10) prélevée au Carrelet en bordure du Rhône de Saint-Ferréol entre -0,95 m et 1,50 m. Des lames minces réalisées à l'INRA (Grignon) ont été réalisées sur quarante et un niveaux (prélevés tous les 5 cm sur une carotte de 245 cm). Le taux de bioturbation a été évalué à partir de la quantification du nombre de biosphéroïdes (Wiecek, Messenger 1972). La présence abondante de lombrics dans les sédiments de la plaine d'inondation du Rhône suppose :

- un environnement favorable à leur développement, à savoir un pH stable et un milieu ni trop humide, ni trop sec ;
- une vitesse d'enfouissement faible et/ou un ralentissement du rythme des inondations permettant le développement de la bioturbation ;
- une activité biologique assez importante et assez longue pour entraîner le remaniement partiel ou total des séquences sédimentaires déposées auparavant. L'accroissement du nombre de biosphéroïdes est donc significatif

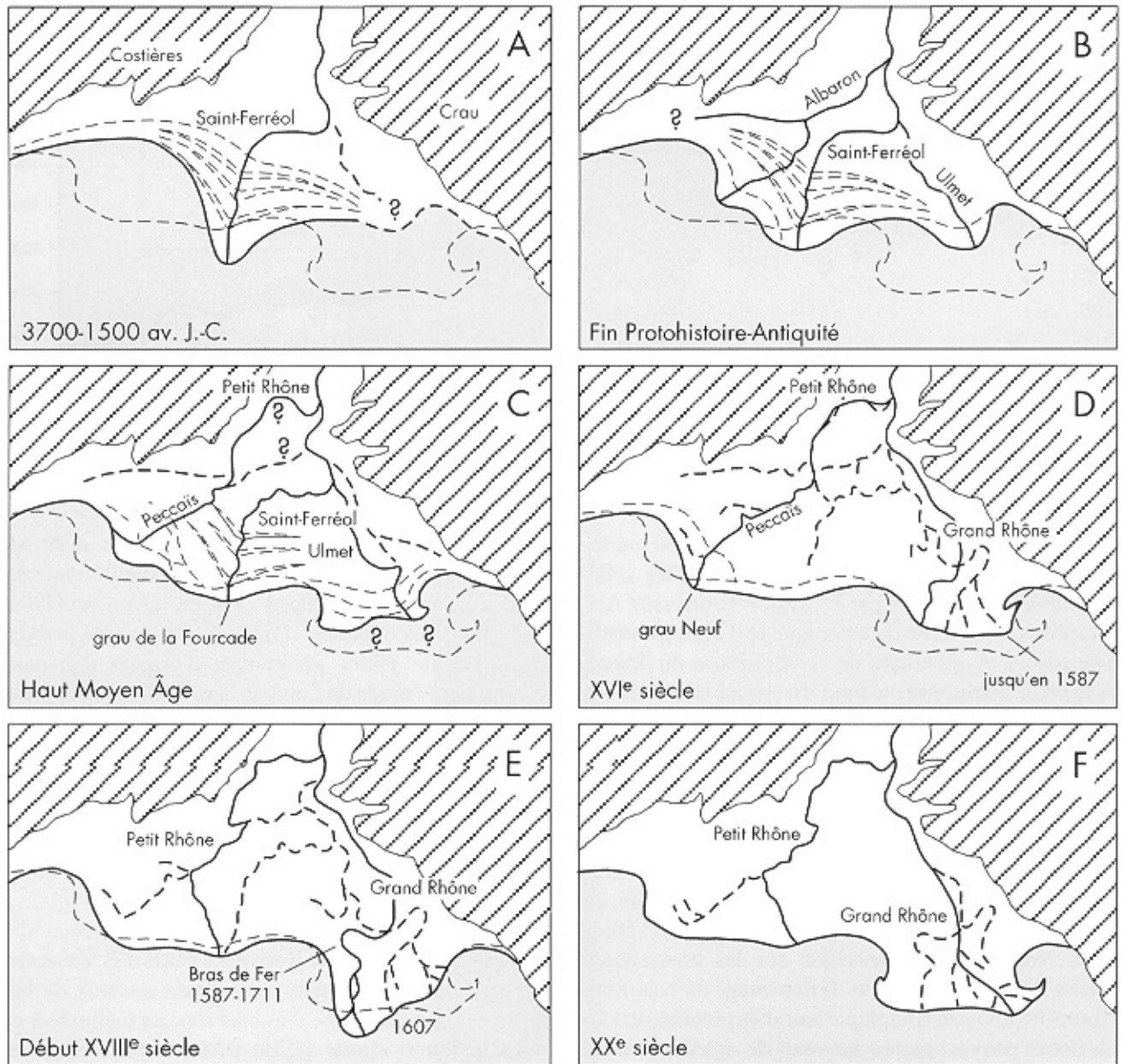


Fig. 3 - L'évolution paléogéographique du delta du Rhône au cours de l'Holocène récent (d'après L'Homer *et al.* 1981 ; modifiée par Arnaud-Fassetta 1998 et Vella 1999).

d'un ralentissement des apports alluviaux et d'un début d'évolution pédologique.

2.5. Les données archéologiques

Permettant de dater assez précisément les unités sédimentaires, les vestiges archéologiques ont également été utilisés comme indicateurs de la paléotopographie et de l'environnement du site (Arnaud-Fassetta, Landuré 1997 ; 2003). Les aménagements de berge, découverts sur le site du Carrelet, localisent précisément le flanc interne de la berge du Rhône de Saint-Ferréol. La signification environnementale des indicateurs archéologiques reste cependant très inégale. Elle dépend de la nature des vestiges, du type et de la durée de l'occupation ; l'inter-

prétation des vestiges archéologiques et la relation qu'ils entretiennent avec le milieu de sédimentation sont essentielles. Les vestiges d'habitats (murs, sépultures, sols d'occupation) supposent :

- un milieu émergé toute l'année et soumis seulement à des inondations épisodiques ;
- vraisemblablement une moindre fréquence de retour des crues de très haute énergie. La céréaliculture ou l'arboriculture se pratiquent au contraire sur des terres inondables rendues fertiles par le limonage de crue, mais non menacées par des remontées de sel. Un site habité pendant plusieurs siècles correspond à une période de stabilité dans la plaine d'inondation proximale ; un site habité pendant une génération seulement fournira des indica-

tions beaucoup moins précises sur les conditions paléo-environnementales (Arnaud-Fassetta, Landuré 2003).

2.6. Les données radiochronologiques

La chronologie des unités sédimentaires s'est appuyée sur les vestiges archéologiques et sur des datations ^{14}C effectuées par C. Oberlin (Université Lyon 1). Les premières datations effectuées en 1994 avaient été réalisées sur des limons contenant de la matière organique diffuse. La plupart des âges obtenus s'étaient avérés erronés, parfois de plusieurs milliers d'années, en raison du remaniement de « vieilles » matières organiques. Par la suite, seuls ont alors été datés les niveaux tourbeux, dont la matière organique est authigène, et les macrorestes végétaux (branches, débris de bois, charbons et fibres végétales). Toutes les datations ^{14}C ont été calibrées à l'aide du logiciel Calib 3.0 et exprimées en années calendaires (Stuiver, Reimer 1993).

3. Les résultats paléohydrologiques

Le nombre et la position des bras rhodaniens se sont modifiés à plusieurs reprises depuis 7 000 ans (Russel 1942 ; Kruit 1955 ; Duboul-Razavet 1956 ; L'Homer *et al.* 1981). Cette question a été détaillée dans la thèse de Gilles Arnaud-Fassetta (1998).

Par comparaison avec la morphologie et la sédimentologie des milieux fluviaux actuels du Petit Rhône, caractérisés par la méthode de Passega (1957), trois types de fonctionnement fluvial ont été mis en évidence (Arnaud-Fassetta 1996 ; 1998).

3.1. Les périodes de crise hydrologique (ou régime dominé par les crues)

Elles sont caractérisées par une dynamique de forte intensité (fig. 4). Dans la plaine d'inondation, les séries alluviales sont formées de séquences « grossières » homogènes (sables fins et limons), impliquant une compétence élevée et constante du flux liquide. La taille maximale des grains transportés en suspension haute (indice C_u) est comprise entre 200 et 270 μm . Les taux de sédimentation enregistrés sont importants, compris entre 2 et 5 mm/an, indiquant des débordements fréquents, favorisés par un chenal en cours de remblaiement et/ou une capacité de transport élevée.

Dans le chenal, le remblaiement rapide favorise la mise en place de nombreux bancs sableux. Les sédiments sont constitués de sables moyens à fins ; la valeur limite des grains transportés en suspension proches du fond (indice C_s) atteint 610-765 μm .

Ces phases de crise correspondent à de hauts niveaux hydrologiques et des crues exceptionnelles fréquentes, ainsi qu'à de hauts niveaux hydriques dans la plaine

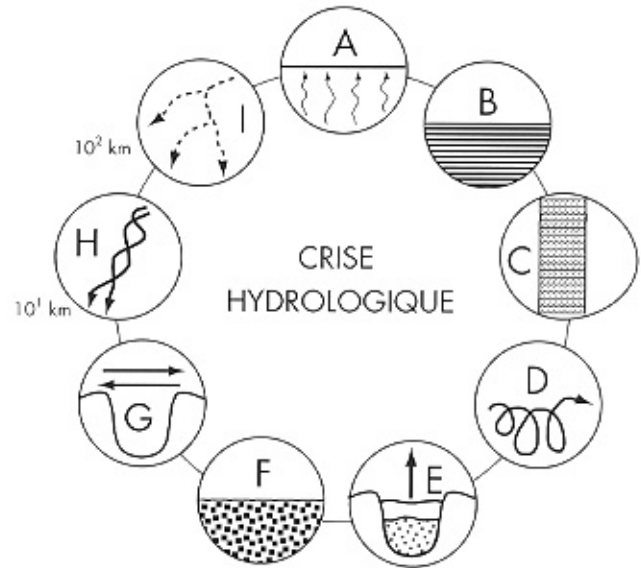


Fig. 4 - Le concept de crise hydrologique (d'après Arnaud-Fassetta 1998) : A, hauts niveaux phréatiques ; B, taux de sédimentation importants dans la plaine d'inondation ; C, séries sédimentaires homogènes et granularité grossière dans la plaine d'inondation ; D, crues exceptionnelles fréquentes (hauts niveaux hydrologiques) ; E, remblaiement rapide du chenal ; F, charge de fond grossière ; G, instabilité latérale du chenal ; H, style en tresses ; I : divagations nombreuses.

d'inondation. Le style fluvial correspond à du « tressage deltaïque », c'est-à-dire à l'apparition de bancs latéraux et médians, de bras multiples et/ou de crevasses. Finalement, la répétition des épisodes de crues exceptionnelles, le renforcement des débits solides et liquides, le remblaiement du chenal et le rehaussement des niveaux phréatiques produisent à terme la défluviation des eaux du Rhône et son changement de lit.

3.2. Les phases de calme hydrologique (ou régime dominé par les étiages)

À l'opposé des précédentes, elles sont caractérisées par des écoulements réguliers ; les épisodes de crue sont très rares, voire inexistant (fig. 5). Dans la plaine d'inondation, l'abondance des séquences fines (limons argileux) marque la prépondérance de la décantation et de la suspension fine. L'indice C_u est très bas (120-200 μm), impliquant une compétence et une hydraulité très atténuées. Les taux de sédimentation sont très réduits (0,5-0,6 mm/an), en rapport avec des débordements peu fréquents, un chenal incisé et/ou une capacité de transport réduite. L'alluvionnement, médiocre, entraîne des hiatus sédimentaires favorables au développement de biosols. Dans le chenal, les dépôts sont plus fins, constitués de sables fins enrichis par une phase limoneuse abondante ; la valeur supérieure de l'indice C_s oscille entre 400 et 455 μm seulement. L'incision du plancher alluvial abaisse la ligne d'eau moyenne, favorise des bas

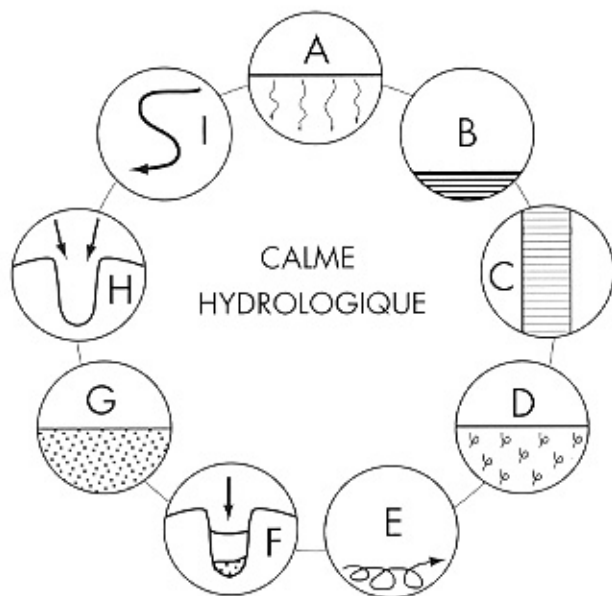


Fig. 5 - Le concept de calme hydrologique (d'après Arnaud-Fassetta 1998) : A, bas niveaux phréatiques ; B, taux de sédimentation faibles dans la plaine d'inondation ; C, séries sédimentaires homogènes et granularité fine dans la plaine d'inondation ; D, développement de biosols dans la plaine d'inondation ; E, crues exceptionnelles rares (bas niveaux hydrologiques) ; F, incision du chenal ; G, charge de fond fine ; H, stabilité latérale du chenal ; I : style à méandres.

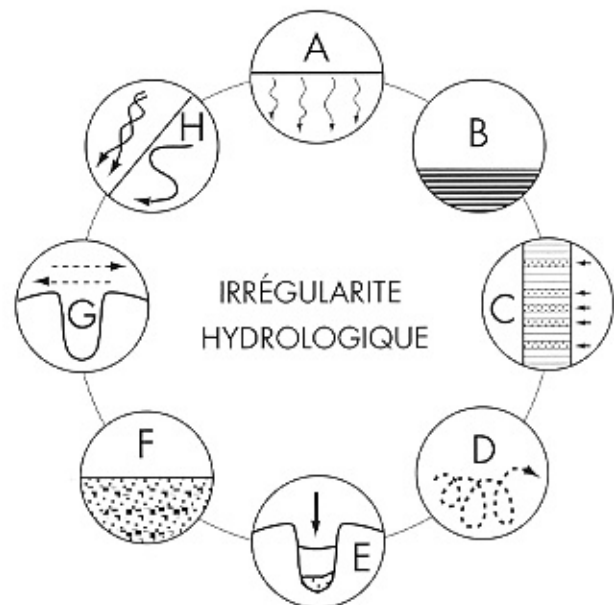


Fig. 6 - Le concept d'irrégularité hydrologique (d'après Arnaud-Fassetta 1998) : A, bas niveaux phréatiques ; B, taux de sédimentation modérés dans la plaine d'inondation ; C, séries sédimentaires hétérogènes et granularité variée dans la plaine d'inondation ; D, crues exceptionnelles peu fréquentes (hauts niveaux hydrologiques) ; E, incision du chenal ; F, charge de fond hétérogène ; G, instabilité latérale du chenal ; H, style fluvial variable.

niveaux phréatiques et le bon drainage de la plaine deltaïque.

3.3. Les périodes d'irrégularité hydrologique

Elles correspondent à des écoulements fluviaux calmes, ponctués de quelques crues qui induisent de hauts niveaux hydrologiques temporaires (fig. 6). Dans la plaine d'inondation, ces fluctuations interannuelles se traduisent par de très fortes oscillations granulométriques d'une séquence de crue à l'autre. Les dépôts grossiers (sables limoneux) alternent avec des niveaux de crue beaucoup plus fins (limons argileux) ; l'indice C_u est compris entre 190 et 255 μm . Le taux de sédimentation varie de 0,6 à 1,6 mm. Dans le chenal, les séquences sableuses alternent avec des passées plus limoneuses, indiquant des crues plus espacées, entrecoupées de périodes de « bas régime » ; C_s est compris entre 495 et 625 μm . Le plancher alluvial est soumis à une incision dominante que les quelques crues exceptionnelles ne suffisent pas à enrayer, ce qui est favorable à l'abaissement des niveaux phréatiques et au bon drainage de la plaine inondable. En fait, ces périodes caractérisent :

- une charge solide très hétérogène arrivant dans le delta,
- une période d'adaptation en réponse à de nouvelles conditions hydrologiques et sédimentaires et/ou,
- une forte variabilité interannuelle des écoulements.

4. Variations hydrologiques du Rhône de 1500 av. J.-C. à 1500 ap. J.-C.

Tous les sites étudiés présentent successivement les trois types de fonctionnement hydrologique précédemment décrits. L'évolution n'est pas aléatoire, ce qui signifierait qu'elle soit conditionnée par les effets de site, mais au contraire identique d'un site à l'autre, exprimant ainsi un fonctionnement paléohydrologique représentatif de l'ensemble de la plaine deltaïque (fig. 7).

4.1. L'âge du Bronze : une crise hydrosédimentaire bien perçue entre 1670 et 1410 av. J.-C.

Un renforcement des apports détritiques rhodaniens, associé à une possible stabilisation du niveau marin relatif (Vella 1999), favorise l'extension des milieux fluvio-palustres au détriment des environnements laguno-marins entre 1670 et 1410 av. J.-C. (Arnaud-Fassetta 1998). Ce phénomène a été confirmé sur deux sites autour de l'étang de Vaccarès (le Carrelet et la Capelière), avec la mise en place de séquences tourbeuses dulçaquicoles sur des environnements lagunaires euryhalins et eurythermes. Cette progradation deltaïque repousse le littoral vers le sud, favorisant ainsi la désalure des terrains et leur possibilité de mise en culture sur le site du Pont Noir (Arnaud-Fassetta et al. 2000).

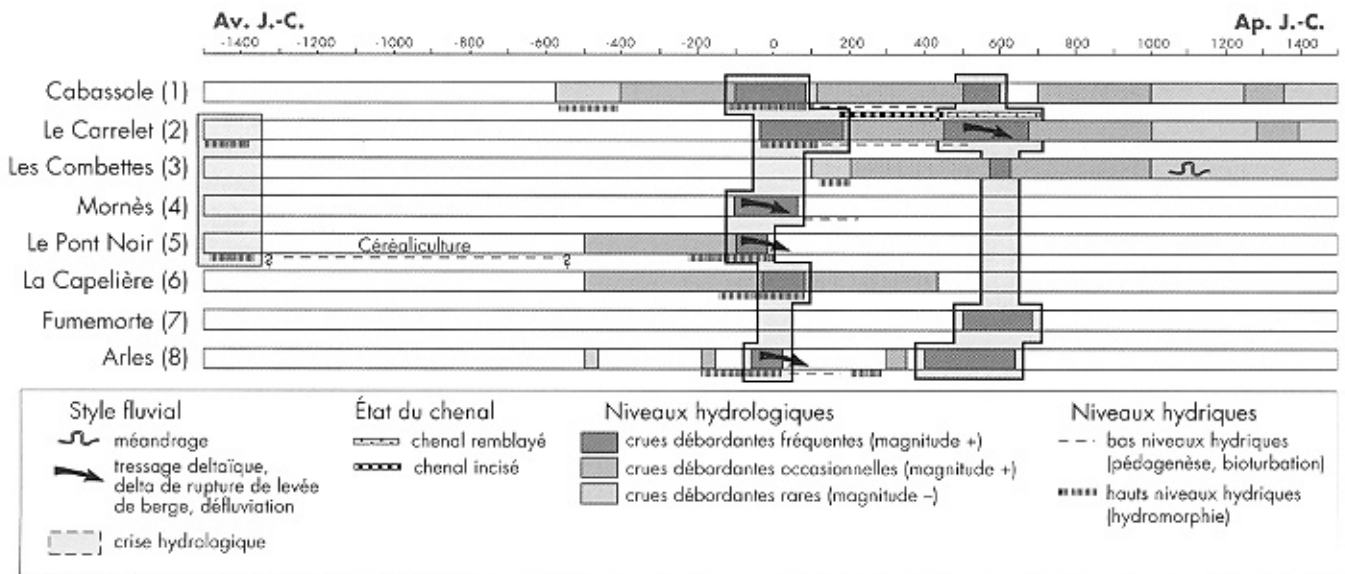


Fig. 7 - La paléohydrologie du delta du Rhône de 1500 av. J.-C. à 1500 ap. J.-C. (d'après Arnaud-Fassetta 1998).

4.2. Des écoulements contrastés entre le V^e s. et le II^e s. av. J.-C.

Au cours du V^e s. av. J.-C., les écoulements du Rhône sont relativement calmes. Dans la plaine d'inondation de Cabassole, les apports sont très fins (suspension uniforme en mode peu énergétique et décantation). La limite supérieure de l'indice C_u ne dépasse pas 120 μm .

Entre le IV^e s. et le II^e s. av. J.-C., les apports du Rhône sont très fluctuants. Sur le site de Cabassole, les dépôts limono-sableux de la plaine d'inondation deviennent hétérogènes et reflètent un régime hydrologique irrégulier. La suspension en mode calme est toujours prédominante mais quelques niveaux mis en place par suspension en mode énergétique soulignent le renforcement de la dynamique fluviale ; l'indice C_u passe à 240 μm . Les taux de sédimentation sont modérés (0,6-1,2 mm/an). Cela suppose donc une montée des niveaux phréatiques accompagnée d'une intensification progressive de la compétence du Rhône.

4.3. Une dynamique fluviale exacerbée aux I^{er} s. av. et I^{er} s. ap. J.-C.

Du I^{er} s. av. J.-C. à la fin du I^{er} s. ap. J.-C., une série d'arguments morphologiques et sédimentologiques permet de confirmer l'existence d'une crise hydrologique (Arnaud-Fassetta 2002). Cela concerne les sites de Cabassole, du Carrelet, de Mornès, du Pont Noir, de la Capelière et d'Arles. Entre le début du I^{er} s. av. J.-C. et la première partie du I^{er} s. ap. J.-C., la plaine d'inondation de Cabassole enregistre une recrudescence des apports « grossiers » homogènes (limons sableux) provenant de la suspension en mode énergétique. L'indice C_u , toujours élevé (245 μm), indique une forte compétence du fleuve. Les taux de sédimentation importants (2-4 mm/an)

traduisent certainement des débordements fréquents et/ou une capacité de transport élevée, en rapport avec une fourniture détritique plus abondante. Vers le I^{er} s. av. J.-C., l'apparition de bras secondaires sur les sites de Mornès et de la Capelière indique une instabilité importante du chenal du Rhône, liée au renforcement des flux liquides et solides. Cette période n'apparaît pourtant pas néfaste à la création de sites habités (la Capelière, Mornès), dont l'occupation semble cependant très brève (moins d'un siècle) et située de préférence sur des points hauts (flanc externe de levée de berge, cordon littoral), peut-être en raison du haut niveau du Rhône et de l'extension plus importante des milieux humides. Entre la fin du I^{er} s. av. J.-C. et la fin du I^{er} s. ap., une montée du niveau hydrologique moyen est en effet observée sur le site du Carrelet ; elle se marque par un atterrissement latéral du chenal de Saint-Ferréol dont l'une des berges doit être rehaussée par un enrochement.

4.4. Fin du I^{er} s.-première moitié du II^e s. ap. J.-C.

De la fin du I^{er} s. à la première moitié du II^e s., on note, sur les sites de Cabassole et des Combettes, les signes d'un bref apaisement de l'activité alluviale. Les dépôts mis en place dans la plaine d'inondation sont plus fins et l'indice C_u passe à 160 μm .

4.5. II^e-début V^e s. : un fonctionnement hydrologique de type « méditerranéen »

Au cours du II^e s., le site du Carrelet enregistre une recrudescence de l'activité alluviale. Elle coïncide avec la mise en place d'une série limoneuse très épaisse (85 cm) dans la plaine d'inondation du Rhône de Saint-Ferréol. Les dépôts sont issus de la suspension en mode énergétique ($C_u = 200 \mu\text{m}$) et la granularité, homo-

gène, suppose une compétence constante des flux liquides. Les taux de sédimentation très élevés (6-13 mm/an) impliquent une charge solide très abondante et/ou une montée brutale des niveaux phréatiques. L'habitat s'installe sur des points hauts à proximité des berges. Mais cette crise n'a été reconnue que sur un seul site et reste peut-être liée à des conditions topographiques locales. En effet, les taux de sédimentation ont pu être dilatés car le Rhône déborde alors dans le talweg d'un ancien chenal.

Entre la seconde moitié du II^e s. et la fin du IV^e s., la dynamique fluviale est très irrégulière et reflète un régime hydrologique contrasté. La majorité des dépôts mis en place dans la plaine d'inondation (Cabassole, le Carrelet, les Combettes) est issue de la suspension uniforme en mode calme, mais quelques niveaux plus grossiers attestent des crues plus dynamiques ; l'indice C_u atteint 190 μm . Les faciès de décantation sont pratiquement absents et impliquent soit une absence de dynamique de très faible énergie, soit un niveau hydrologique moyen du Rhône très bas ne permettant que très occasionnellement aux eaux du fleuve de déborder et de stagner dans la plaine d'inondation. Cette situation décrit en fait des débits moyens modestes, ponctués de quelques épisodes de crue plus violents. Les taux de sédimentation dans la plaine d'inondation sont généralement faibles (0,8-1,6 mm/an), à l'exception du site des Combettes, où l'accrétion verticale est très rapide (5-7 mm/an), en rapport avec un engorgement du chenal en amont du méandre et/ou au tassement du sous-sol. Entre le milieu du IV^e s. et le début du V^e s., la construction d'un établissement rural à Cabassole, signe d'une mise en valeur agricole plus affirmée, et l'implantation de bassins de salaison dans la plaine d'inondation au Carrelet laissent supposer un meilleur drainage des terres basses. Dans le chenal, l'incision dominante favorise l'enfoncement du plancher alluvial qui atteint alors la cote de -12 m au Carrelet entre 150 et 310. Les dépôts sont majoritairement issus de la suspension dont l'indice C_s est égal à 600 μm . On peut supposer que l'enfoncement du lit fluvial, favorisant un bas niveau hydrologique moyen, représente l'une des causes possibles des faibles taux de sédimentation observés dans la plaine d'inondation.

4.6. Une nouvelle crise hydrologique entre le milieu du V^e s. et la fin du VII^e s.

Les résultats obtenus sur la plupart des sites camarguais (Cabassole, le Carrelet, les Combettes, Fumemorte) convergent en faveur d'une nouvelle dégradation des conditions hydrologiques, liée à un renforcement très net des flux liquides et solides. Dans la plaine d'inondation, les dépôts sont plus grossiers et l'indice C_u atteint 235 μm ; les taux de sédimentation sont importants (1,3-

2,7 mm/an). Le chenal de Saint-Ferréol au Carrelet subit un remblaiement important, de plus de 6 m, qui favorise l'exhaussement des niveaux hydrologiques ; les dépôts sont plus grossiers, leur indice C_s atteint 610 μm . En renforçant le caractère débordant du Rhône, le remblaiement du chenal explique l'accroissement des taux de sédimentation et le développement des deltas de rupture de levée dans la plaine d'inondation. Sur le site des Combettes comme sur celui du Carrelet, le Rhône édifie un delta de rupture de levée vers le VI^e s.

4.7. Une dynamique très atténuée entre le VIII^e s. et le XV^e s.

Entre le début du VIII^e s. et la fin du X^e s., une atténuation progressive de l'énergie du Rhône est observée sur l'ensemble de la Camargue. Ainsi, sur les sites de Cabassole et du Carrelet, la plaine d'inondation enregistre une réduction de la taille des sédiments, l'indice C_u s'abaissant à 200 μm . Le taux de sédimentation s'atténue aussi très fortement (0,5-0,7 mm/an). La charge sableuse déposée dans les chenaux du Rhône s'affine ($C_s = 495 \mu\text{m}$). Une réduction graduelle de l'énergie du Rhône est enregistrée sur le site des Combettes, peut-être due au fait que les eaux du Rhône s'écoulent déjà dans le bras du Grand Passon.

Entre le début du XI^e s. et la fin du XV^e s., les Rhônes de Saint-Ferréol et d'Ulmet sont progressivement colmatés, avant d'être artificiellement coupés du Grand Rhône vers 1440. La limite supérieure de l'indice C_u se maintient à 205 μm . L'indice C_s diminue en revanche très fortement (400 μm). Au sein d'un affinement général de la charge solide, quelques niveaux plus grossiers sur les sites de Cabassole, du Carrelet et des Combettes pourraient marquer l'arrivée de quelques crues exceptionnelles. Par ailleurs, on constate une relative stabilité des embouchures du Rhône entre le haut Moyen Âge et le XV^e s. ; leur progradation reste limitée car l'absence d'endiguements jusqu'au XII^e s. facilite la dispersion des flux liquides et minéraux sur toute la surface de la plaine deltaïque. La situation sera bien différente au cours des temps modernes (Arnaud-Fassetta, Provansal 1999 ; Arnaud-Fassetta 2003).

5. La corrélation entre la variabilité des écoulements fluviaux et la dynamique de l'occupation du sol est-elle significative ?

Les basses plaines littorales humides ont longtemps été considérées comme répulsives pour les sociétés humaines (Benoit 1940). Cette perception de l'environnement fut très largement inspirée de celle de l'ingénieur moderne, soucieux de justifier son intervention dans les plaines mal drainées (Leveau 1997). Elle s'appuyait sur une vision très simplifiée (catastrophiste ?) de l'impact

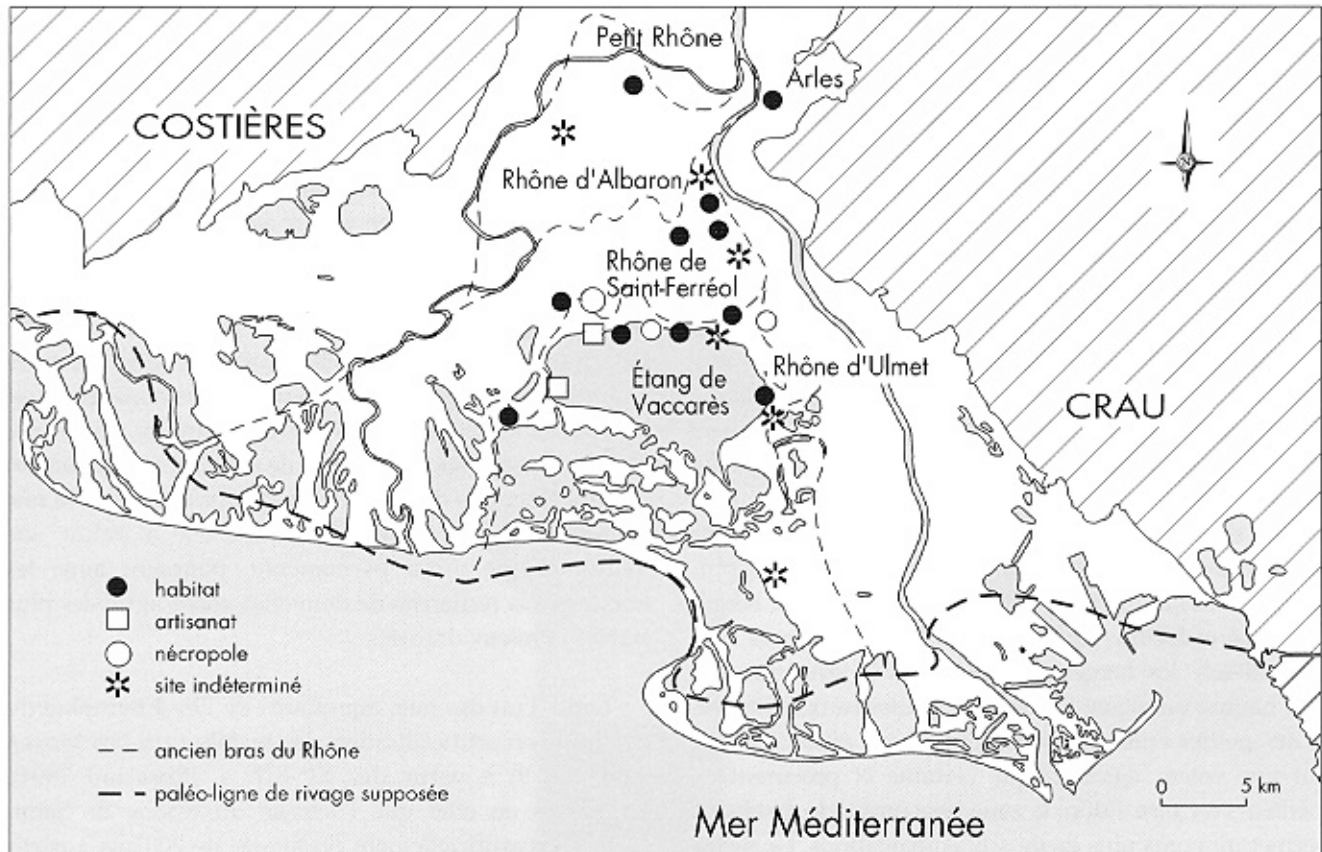


Fig. 8 - L'occupation du sol et le contexte hydrologique du delta du Rhône au cours de l'Antiquité tardive/haut Moyen Âge (d'après Arnaud-Fassetta, Landuré 1997).

des contraintes phréatiques et hydrologiques sur le comportement des sociétés, négligeant :

- le fait qu'un milieu humide ne l'est pas uniformément selon le lieu ou la saison ;
- l'évolution de la maîtrise technologique et les possibilités d'adaptation des sociétés riveraines. Depuis une dizaine d'années, la découverte de nombreux sites de plaine (delta de l'Arc, vallée des Baux) a permis d'avancer l'hypothèse que les sociétés, au moins à partir de la Protohistoire, ont pu être à la recherche de ces milieux humides, riches de ressources.

La relation sociétés/milieux humides peut ainsi évoluer en fonction d'une part des acquis technologiques et politiques (maîtrise des sols), ce qui est par exemple le cas des sociétés romaine et moderne, et d'autre part des capacités d'adaptation des sociétés, à savoir que les communautés vivant dans de petits habitats et pratiquant l'agriculture dans la plaine d'inondation, peuvent supporter d'être inondées modérément, dès lors que la magnitude et la fréquence des inondations ne sont pas trop importantes.

En fait, il n'y a pas de déterminisme strict du milieu et la relation sociétés/milieux humides s'appuie sur un équilibre « relatif » entre les conditions paléoenvironnementales et les modalités de l'occupation : en clair, il n'est

pas évident d'établir un lien de cause à effet entre le régime fluvial et l'occupation du sol. S'il est vrai que la construction d'établissements agricoles au IV^e s. s'est effectuée à la faveur de crues débordantes moins fréquentes, l'occupation des V^e-VII^e s. apparaît en revanche en pleine crise hydrologique du fleuve (fig. 8). De même, l'apaisement de la deuxième partie du I^{er} s. ne semble pas avoir déclenché un essor démesuré de l'habitat ou de la mise en valeur du terroir. En définitive, les débordements ou les divagations du fleuve ne peuvent être considérés comme une contrainte « absolue » à l'installation durable des hommes sur les berges et dans la plaine inondable. Les seules contraintes absolues du milieu physique sont celles d'un seuil de salinité et/ou d'hydromorphie au-delà duquel il n'est plus possible de cultiver durablement.

À l'échelle de l'ensemble du delta, il est possible de dégager quelques faits généraux sur la relation fleuve/sociétés.

Les gisements archéologiques recensés dans le delta du Rhône entre le V^e s. av. J.-C. et le X^e s. correspondent le plus souvent à des petits habitats groupés généralement associés à des activités agricoles ou artisanales. Ils se

répartissent le long des paléochenaux et occupent de préférence la marge haute de la plaine d'inondation proximale du Rhône, en retrait de quelques dizaines de mètres de la levée de berge. Ce choix apparaît tout d'abord justifié par le fait de pouvoir garder un accès au fleuve. En effet, le delta du Rhône présente un réseau hydrographique hiérarchisé, avec des bras majeurs et d'autres plus moribonds, ce qui, de tout temps, a offert aux hommes la possibilité de choisir les axes les plus tranquilles et de profiter ainsi d'un contact permanent avec le fleuve. Il permet ensuite de s'abriter des inondations saisonnières qui envahissent plutôt les parties basses distales du champ d'inondation. En revanche, les communautés n'étaient pas à l'abri des ruptures de berge et des défluviations qui s'en suivaient (Arnaud-Fassetta, Landuré 2003).

Les sites recensés, pour la plupart, occupent la rive concave des méandres, pour plusieurs raisons. La plus grande stabilité du milieu procure un accès aux berges plus aisé et facilite l'aménagement éventuel de la rive. Par ailleurs, les berges de rive concave, généralement plus hautes, protègent les sites des hautes eaux ordinaires et des petites crues. De plus, les terrains plus limoneux ont une valeur agronomique certaine et procurent de meilleurs terroirs. Enfin, la zone plus profonde du chenal permet un accès plus facile aux embarcations. Le risque fluvial en rive concave est pourtant réel, les sapements de berge sont fréquents et la zone est exposée aux ruptures de levée lors des grandes crues (Arnaud-Fassetta, Landuré 2003).

Le temps d'occupation des sites est très variable. Certains lieux témoignent d'une occupation durable et continue à l'échelle pluriséculaire (ex : Cabassole entre le V^e s. et le X^e s. ; le Carrelet entre le II^e s. et le VIII^e s.), ce qui suppose soit des conditions hydrologiques et morphologiques stables, soit un intérêt économique permanent (terroir de qualité, proximité de l'étang de Vaccarès...). D'autres sites, souvent en position haute, témoignent au contraire d'une occupation brève ou diffuse, pluridécennale (ex : Mornès à la fin du I^{er} s. av. J.-C.), ce qui peut être lié à une dégradation rapide des conditions hydrologiques qui remet en cause la qualité de l'habitat, à un repli temporaire vers des espaces refuges (points hauts) hors d'atteinte des inondations, et/ou à un intérêt limité de la zone, du fait par exemple de l'épuisement des ressources à exploiter.

La mise en valeur agricole de la Camargue dépend des qualités agronomiques, hydriques et chimiques de la plaine alluviale. Les « bonnes terres » pour la céréali-culture sont constituées de limons argileux légèrement sableux, mais surtout, elles sont situées assez haut pour échapper aux remontées de la nappe phréatique saumâtre. Ces terroirs sont de préférence situés dans la plaine d'inondation afin de mettre à profit la décantation des

limons apportés par les eaux de crue. Toutefois, un éloignement trop important dans la plaine d'inondation est défavorable à la mise en culture, en raison de la présence de la nappe phréatique saumâtre. La viticulture et la culture des fruitiers pourront se pratiquer sur les terroirs sableux bien drainants des iscles ou des levées de berge.

Des traces de mise en valeur agricole ont été perçues sur le site du Pont Noir, avec le développement de la céréali-culture dans la plaine d'inondation de l'ancien Rhône d'Ulmet entre 1640 et le I^{er} s. av. J.-C. (Arnaud-Fassetta *et al.* 2000). Au cours de cette période, les crues débordantes de haute énergie n'ont jamais remis en cause la fréquentation et l'utilisation des terroirs. Le facteur physique responsable de l'arrêt de la culture céréalière est plutôt l'élévation des niveaux hydriques. Associée à une rupture de levée du bras d'Ulmet, elle a induit une hydromorphie quasi permanente, poussant ainsi les hommes à la recherche de nouvelles zones agricoles plus stables et mieux drainées.

Enfin, l'un des faits marquants de l'hydrographie du delta est son artificialisation dès le début du bas Moyen Âge (fig. 9) à partir des XI^e-XII^e s. (Rossiaud 1994). Rappelons en effet que l'activité du Rhône de Saint-Ferréol est artificiellement prolongée de 200 ans à partir des XIII^e-XIV^e s. Le Rhône d'Ulmet est coupé au XV^e s. alors qu'il est toujours soumis à quelques crues. La décision de repousser artificiellement les écoulements fluviaux vers les marges du delta (Petit Rhône, Grand Rhône-Grand Passon) apparaît comme une volonté :

- de protéger l'île de Camargue des inondations qui deviennent plus fréquentes dès la fin du XIV^e s. ;
- de concentrer les eaux du Rhône dans quelques bras seulement, en raison de l'encombrement des embouchures lié non seulement à la dispersion de l'énergie hydrodynamique dans la plaine deltaïque mais aussi peut-être à une recrudescence des apports détritiques au bas Moyen Âge. En fait, le réseau hydrographique actuellement visible à la surface du delta est tardif (postérieur au I^{er} s. av. J.-C.), aucune trace de paléo-chenal antérieur à cette date n'ayant été repérée. Par conséquent, l'hypothèse d'un glissement des chenaux vers l'est ou le sud-est du delta au cours de l'Holocène récent (L'Homer *et al.* 1981) reste toujours possible, mais ne peut en aucun cas s'appuyer sur cette image des bras « récents » dont le déplacement est en grande partie d'origine anthropique depuis le début du bas Moyen Âge.

6. Conclusions et perspectives de recherche

Au terme de cette première tranche du programme Delta du Rhône, nous pouvons dresser le bilan des recherches sur la paléohydrologie du Rhône dans son delta. Des fluctuations importantes de la dynamique

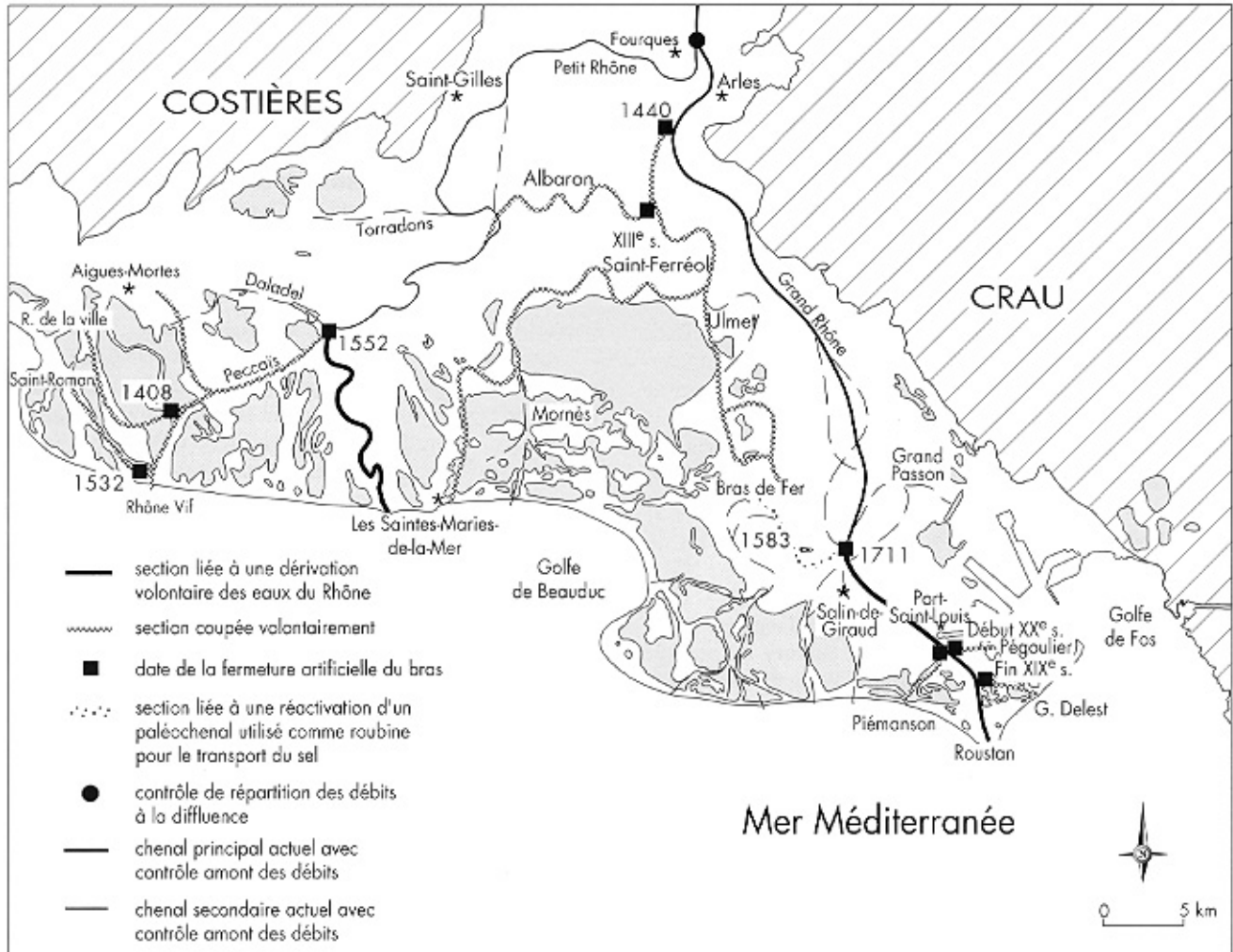


Fig. 9 - L'artificialisation du réseau hydrographique dans le delta du Rhône depuis le Moyen Âge (d'après Arnaud-Fassetta 1998).

fluviale ont été soulignées, ayant des répercussions sur la mobilité des paysages fluviaux et sur la progradation du trait de côte. L'histoire du Rhône est caractérisée par plusieurs modes de fonctionnement hydrodynamique, chacun ayant eu des implications sur les transformations des sols et leur possibilité d'occupation. Plusieurs phases de crises hydrologiques ont été reconnues (1670-1410 av. J.-C., I^{er} s. av.-I^{er} s. ap. J.-C., V^e-VII^e s.), révélatrices du fonctionnement du fleuve à l'échelle de son bassin-versant.

Concernant la relation entre la dynamique fluviale et l'occupation du sol, il apparaît, en première analyse, que les fluctuations hydrosédimentaires ne jouent pas un rôle déterminant sur la densité des habitats. Il est certain que les « crises » du Rhône ne devaient certainement pas être faciles à gérer par les communautés du delta, car elles s'accompagnaient généralement de crues débordantes plus fréquentes, d'un relèvement des niveaux phréatiques et d'une très forte instabilité latérale du chenal, propres à favoriser les ruptures de levée et la divagation des bras. Mais la confrontation des résultats paléoenvironnementaux et archéologiques a montré que les crises

hydrologiques n'apparaissent pas forcément néfastes à l'occupation humaine. Ce phénomène a pu être vérifié à plusieurs reprises, notamment au cours de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Âge où l'on voit se multiplier les sites d'habitat en bordure des chenaux du Rhône, et ce, malgré le contexte de crise hydrologique sévère.

Malgré la masse de données accumulées durant ces années de recherche, plusieurs questions sur la variabilité de la dynamique fluviale dans le delta du Rhône n'ont pu être définitivement tranchées et certaines d'entre elles sont souvent restées sans réponse. Le travail demande à être poursuivi, en prospectant de nouveaux sites géoarchéologiques, en complétant la chronologie des paléochenaux et en élargissant le champ d'investigation aux périodes protohistorique et médiévale encore mal connues. Ce travail est actuellement accompli dans le cadre d'un programme de recherche financé par le ministère de la Recherche et de la Technologie, portant sur « Le risque hydrologique dans le delta du Rhône au Moyen Âge » (coordinateur : Gilles Arnaud-Fassetta, UMR PRODIG-Paris 7).

Références bibliographiques

- Arcelin et al. 1999** : ARCELIN (P.), ARNAUD-FASSETTA (G.), HEIJMANS (M.), VALENTIN (F.) - Le Rhône à Arles : données archéologiques et sédimentologiques. In : LEVEAU (P.) dir. - Le Rhône romain. Dynamiques fluviales, dynamiques territoriales. *Gallia*, 56, 1999, 121-129.
- Arnaud-Fassetta 1996** : ARNAUD-FASSETTA (G.) - Les inondations rhodaniennes d'octobre 1993 et janvier 1994 en milieu fluvio-deltaïque. L'exemple du Petit Rhône. *Quaternaire*, 7, 2, 1996, 139-153.
- Arnaud-Fassetta 1998** : ARNAUD-FASSETTA (G.) - *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*. Lille : Presses universitaires du Septentrion, 1998. 329 p. (thèse de doctorat de III^e cycle, université d'Aix-Marseille I).
- Arnaud-Fassetta 2000** : ARNAUD-FASSETTA (G.) - *Quatre mille ans d'histoire hydrologique dans le delta du Rhône. De l'âge du Bronze au siècle du nucléaire*. Paris : PRODIG, 2000. 229 p. (Grafigéo ; 11) (Mémoires et documents de l'UMR PRODIG).
- Arnaud-Fassetta 2002** : ARNAUD-FASSETTA (G.) - Geomorphological records of « flood-dominated regime » in the Rhone Delta (France) between the 1st century BC and the AD 2nd century. What correlations with the catchment palaeohydrology. *Geodinamica acta*, 15, 2002, 79-92.
- Arnaud-Fassetta 2003** : ARNAUD-FASSETTA (G.) - River channel changes in the Rhône Delta (France) since the end of the Little Ice Age : geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. *Catena*, 51, 2003, 141-172.
- Arnaud-Fassetta et al. 2000** : ARNAUD-FASSETTA (G.), DE BEAULIEU (J.-L.), SUC (J.-P.), PROVANSAL (M.), WILLIAMSON (D.), LEVEAU (P.), GIRESSÉ (P.), ALOISI (J.-C.), ÉVIN (J.), DUZER (D.) - Evidence for an early landuse in the Rhône Delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial palaeoenvironments (1640-100 BC). *Geodinamica acta*, 13, 2000, 377-389.
- Arnaud-Fassetta, Chabal 1997** : ARNAUD-FASSETTA (G.), CHABAL (L.) - Évolution des paléoenvironnements fluviaux dans la plaine deltaïque du Rhône de l'Antiquité au haut Moyen Âge d'après la géomorphologie et l'anthracologie. In : BAUDAT (M.) - *Crau, Alpilles, Camargue. Histoire et Archéologie* : actes du colloque d'Arles, 18-19 novembre 1995. Arles : Groupe archéologique arlésien, 1997, 13-30.
- Arnaud-Fassetta, Landuré 1997** : ARNAUD-FASSETTA (G.), LANDURÉ (C.) - Occupation du sol et contraintes fluviales dans le delta du Rhône (France du sud). In : BURNOUF (J.) éd., BRAVARD (J.-P.) éd., CHOUQUER (G.) éd. - *La dynamique des paysages protohistoriques, antiques, médiévaux et modernes* : actes des XVII^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire, Antibes, octobre 1996. Juan-les-Pins : APDCA, 1997, 285-308.
- Arnaud-Fassetta, Landuré 2003** : ARNAUD-FASSETTA (G.), LANDURÉ (C.) - Hydroclimatic hazards, vulnerability of societies and fluvial risk in the Rhone Delta (Mediterranean France) from the Greek period to the Early Middle Ages. In : FOUACHE (E.) éd. - *The Mediterranean world Environment and History*. Paris : Elsevier, 2003, 51-76.
- Arnaud-Fassetta, Provansal 1999** : ARNAUD-FASSETTA (G.), PROVANSAL (M.) - High frequency variations of water flux and sediment discharge during the Little Ice Age (1586-1725 AD) in the Rhône Delta (Mediterranean France). Relationship to the catchment basin. In : GARNIER (J.) éd., MOUCHEL (J.-M.) éd. - *Man and River Systems. The Functioning of River Systems at the Basin Scale* : proceedings from a symposium held in Champs-sur-Marne (Paris) in March 1998. Dordrecht : Boston : Kluwer Academic Publishers, 1999, 241-250 (Developments in Hydrobiology ; 146 reprinted from *Hydrobiologia* ; 410).
- Arnaud-Fassetta, Quisserne, Antonelli 2003** : ARNAUD-FASSETTA (G.), QUISSERNE (D.), ANTONELLI (C.) - Downstream grain-size distribution of surficial bed material and its hydro-geomorphological significance in a large and regulated river : the Rhône River in its delta area (France). *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 1, 2003, 33-50.
- Benoit 1940** : BENOIT (F.) - Le delta du Rhône à l'époque grecque. *Revue des études anciennes*, XLII, 1940, 567-572.
- Berger 1996** : BERGER (J.-F.) - *Le cadre paléogéographique des occupations du bassin valdarnais (Drôme) à l'Holocène*. Paris : Université de Paris I, 1996. 320 p. (thèse d'Université).
- Bouteyre et al. 1970** : BOUTEYRE (G.), TONI (C.), CHANTE (R.), GREBOUVAL (G.) - *Rapport Camargue : étude hydrologique, pédologique et de salinité*. Arles : 1970. 4 vol.
- Bravard 1983** : BRAVARD (J.-P.) - Les sédiments fins des plaines d'inondation dans la vallée du Haut-Rhône (approche qualitative et spatiale). *Revue de géographie alpine*, 71, 4, 1983, 363-379.
- Bravard 1987** : BRAVARD (J.-P.) - *Le Rhône, du Léman à Lyon*. Lyon : La Manufacture, 1987. 451 p.
- Bravard 1989** : BRAVARD (J.-P.) - La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Âge et à l'époque Moderne. *Revue de Géographie de Liège*, 25, 145-157.
- Bravard 1991** : BRAVARD (J.-P.) - La dynamique fluviale à l'épreuve des changements environnementaux : quels enseignements applicables à l'aménagement des rivières. *La Houille Blanche*, 7-8, 1991, 515-521.
- Bravard et al. 1990** : BRAVARD (J.-P.), LE BOT-HELLY (A.), HELLY (B.), SAVAY-GUERRAZ (H.) - Le site de Vienne (38), Saint-Romain (69), Sainte-Colombe (69). L'évolution de la plaine alluviale du Rhône, de l'âge du Fer à la fin de l'Antiquité : proposition d'interprétation. In : *Archéologie et espaces* : actes des X^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire, Antibes, 19-21 octobre 1989. Juan-les-Pins : APDCA, 1990, 437-452.
- Bravard et al. 1997** : BRAVARD (J.-P.), VÉROT-BOURRÉLY (A.), FRANC (O.), ARLAUD (C.) collab. - Paléodynamique du site fluvial de Lyon depuis le Tardiglaciaire. In : BRAVARD (J.-P.) éd., PRESTREAU (M.) éd. - *Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie* : actes de la table ronde, Lyon, 17-18 novembre 1995. Lyon : SRA Rhône-Alpes, 1997, 177-201 (Documents d'archéologie en Rhône-Alpes ; 15).
- Bravard, Amoros, Jacquet 1986** : BRAVARD (J.-P.), AMOROS (C.), JACQUET (P.) - Reconstitution de l'environnement des sites archéologiques fluviaux par une méthode interdisciplinaire associant la géomorphologie, la zoologie et l'écologie. *Revue d'archéométrie*, 10, 1986, 43-55.
- Bravard, Vérot-Bourrély, Salvador 1992** : BRAVARD (J.-P.), VÉROT-BOURRÉLY (A.), SALVADOR (P.-G.) - Le climat

- d'après les informations fournies par les enregistrements fluviatiles étudiés sur des sites archéologiques. *Les nouvelles de l'archéologie*, 50, 1992, 7-14.
- Cambon et al. 1997** : CAMBON (G.), SUC (J.-P.), ALOISI (J.-C.), GIRESE (P.), MONACO (A.), TOUZANI (A.), DUZER (D.), FERRIER (J.) - Modern pollen deposition in the Rhône Delta Area (lagoonal and marine sediments), France. *Grana*, 36, 1997, 105-113.
- Colomb et al. 1975** : COLOMB (E.), GUIEU (G.), MASSE (J.-P.), ROUIRE (M.), ROUX (M.), DAMIANI (L.) collab., DUROZCOY (G.) collab., PUTALLAZ (J.) collab., L'HOMER (A.) collab. - *Notice de la carte géologique de France. Istres, feuille 1019*. Orléans : BRGM, 1975. 47 p. (Carte géologique de France 1/50 000^e).
- Desjardins 1866** : DESJARDIN (E.) - *Aperçu historique sur les embouchures du Rhône. Travaux anciens et modernes. Fosses mariennes. Canal du Bas Rhône*. Paris : impr. générale C. Lahure, 1866. 136 p. (Mémoire lu à la Société de géographie).
- Duboul-Razavet 1956** : DUBOUL-RAZAVET (C.) - *Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône*. Paris : Société géologique de France, 1956. 234 p. (Mémoires de la Société géologique de France. ; 35 nouv. sér.).
- Kruit 1955** : KRUIT (C.) - Sediments of the Rhone Delta ; grain size and microfauna. *Verhandelingen van het Koninklijk Mijnbouwkundig Genootschap, Geologische serie deel*, 15, 1955, 359-501.
- L'Homer 1975** : L'HOMER (A.) - *Notice explicative de la carte géologique de la France (1/50 000^e). Feuille Saintes-Maries de la Mer (1018)*. Orléans : BRGM, 1975. 35 p.
- L'Homer 1987** : L'HOMER (A.) - *Notice explicative de la carte géologique de la France (1/50 000^e). Feuille Arles*. Orléans : BRGM, 1987. 72 p.
- L'Homer 1993** : L'HOMER (A.), ALOISI (J.-C.) collab., BAZILE (F.) collab., MARCHAL (J.-P.) collab. - *Notice explicative de la carte géologique de la France (1/50 000^e). Feuille Le Grau du Roi (1017)*. Orléans : BRGM, 1993. 93 p.
- L'Homer et al. 1981** : L'HOMER (A.), BAZILE (F.), THOMMERET (J.), THOMMERET (Y.) - Principales étapes de l'édification de delta de Rhône de 7000 BP à nos jours ; variations du niveau marin. *Océanis*, 7, 4, 1981, 389-408.
- Landuré, Pasqualini 1997** : LANDURÉ (C.), PASQUALINI (M.) - Évolution de l'occupation humaine et de l'environnement dans le delta du Rhône. Nouvelles perspectives de recherches. In : BAUDAT (M.) - *Crau, Alpilles, Camargue. Histoire et Archéologie* : actes du colloque d'Arles, 18-19 novembre 1995. Arles : Groupe archéologique arlésien, 1997, 7-11.
- Leveau 1997** : LEVEAU (P.) - Sociétés historiques et milieux humides. Un modèle systémique des données applicable aux marais continentaux de cuvette. *N.S.S.*, 5, 2, 1997, 5-18.
- Oomkens 1970** : OOMKENS (E.) - Depositional sequences and sand distribution in the postglacial Rhône delta complex. In : MORGAN (J.-P.) éd., SHAVER (R. H.) collab. - *Deltaic sedimentation modern and ancient*. Tulsa, Okla. : Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1970, 198-212 (Society of Economic Paleontologists and Mineralogists. Special publication ; 15).
- Passéga 1957** : PASSEGA (R.) - Texture as characteristics of clastic deposition. *American Association petrol. geol. bull.*, 41, 9, 1952-1964.
- Peiry 1988** : PEIRY (J.-L.) - *Approche géographique de la dynamique spatio-temporelle des sédiments d'un cours d'eau intramontagnard : l'exemple de la plaine alluviale de l'Arve (Haute-Savoie)*. Lyon : Université de Lyon 3, 1988. 378 p. (thèse d'Université).
- Pons, Toni, Triat 1979** : PONS (A.), TONI (C.), TRIAT (H.) - Édification de la Camargue et histoire holocène de sa végétation. *Terre et vie, revue écol.*, 2, 1979, 13-30.
- Rossiaud 1994** : ROSSIAUD (J.) - *Réalités et imaginaire d'un fleuve. recherches sur le Rhône médiéval*. Paris : Université de Paris I, 1994. 3 vol. (Thèse d'Université).
- Russel 1942** : RUSSEL (R.-J.) - Geomorphology of the Rhône delta. *Association of american geographers annals*, 32, 1942, 149-254.
- Salvador 1991** : SALVADOR (P. G.) - *Le thème de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère - bassin de Matville et ombilic de Moirans - Bas-Dauphiné*. Lyon : Université Jean Moulin-Lyon 3, 1991. 498 p. (thèse d'Université).
- Salvador et al. 1993** : SALVADOR (P. G.), BRAVARD (J.-P.), VITAL (J.), VORUZ (J.-L.) - Archaeological evidence for Holocene floodplain development in the Rhône valley, France. *Z. Geomorph. N.F.*, 88, 1993, 81-95.
- Stuiver, Reimer 1993** : STUIVER (M.), REIMER (P. J.) - Extended ¹⁴C data base and revised Calib 3.0, radiocarbon age calibration program 1993. *Radiocarbon*, 35, 1, 1993, 215-230.
- Triat-Laval 1978** : TRIAT-LAVAL (H.) - *Contribution pollenanalytique à l'histoire tardive et postglaciaire de la végétation de la Basse Vallée du Rhône*. Aix-en-Provence : Université Aix-Marseille 3, 1978. 344 p. (thèse d'Université).
- Van Andel 1955** : VAN ANDEL (T. H.) - Sediments of the Rhone delta ; sources and deposition of heavy minerals. *Verhandelingen van het Koninklijk Mijnbouwkundig Genootschap, Geologische serie deel*, 15, 1955, 502-555.
- Vella 1999** : VELLA (C.) - *Perception et évaluation de la mobilité du littoral holocène sur la marge orientale du delta du Rhône*. Aix-en-Provence : Université de Provence Aix-Marseille I, 1999. 225 p. (thèse de doctorat dactyl.).
- Wiecek, Messenger 1972** : WIECEK (C. S.), MESSENGER (A. S.) - Calcite contributions by earth worms to forest soils in Northern Illinois. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 7, 2, 1996, 139-153.