Le risque fluvial en milieu rural de l'époque grecque au haut Moyen Âge

Le cas du delta du Rhône (France)

Introduction

Le delta du Rhône (Fig. 1A) est une vaste plaine de niveau de base (~ 1 700 km²) dont l'édification holocène résulte de l'interaction entre plusieurs facteurs physiques (alluvionnement, eustatisme, mouvements du sol). La variabilité hydrosédimentaire y a joué un rôle majeur dans son développement. Génétiquement voué aux crues, aux défluviations, aux deltas de rupture de levée et aux conflits eau douce/eau salée, ce delta constitue un milieu physique instable, fait de contraintes naturelles fortes (Arnaud-Fassetta, 1998, 2007). Pourtant, son occupation et sa mise en valeur à l'Antiquité et au haut Moyen Âge montrent l'intérêt qu'il a suscité auprès des sociétés humaines (Landuré *et al.*, 2004). Confrontées aux crues et à l'irrégularité du régime hydrologique du Rhône, ces dernières ont pu être exposées, tant physiquement que moralement et matériellement et ce à des degrés divers, aux aléas hydroclimatiques (Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003).

Dans cette synthèse, l'aléa est représenté par les crues et leurs effets morphodynamiques dans le delta rhodanien ; étroitement liées à la variabilité climatique, celles-ci sont considérées comme des aléas hydroclimatiques. Quant à la vulnérabilité, elle concerne les sociétés qui se sont développées sur les anciens bourrelets alluviaux du Rhône. Il s'agit alors de se demander quelle a été la nature du risque fluvial au cours des deux derniers millénaires encadrant le changement d'ère (800 av. J.-C.-1000 apr. J.-C.). Quelle influence a-t-il exercé sur le développement économique et rural du delta ? A t-il été constant ? La société lui a t-elle été toujours aussi sensible ?

Depuis 1995, deux projets collectifs de recherche du ministère de la Culture [« *Delta du Rhône* » (1995/1998) et « *Rhône d'Ulmet* » (1999/2001)], coordonnés respectivement par M. Pasqualini et C. Landuré (Service Régional de l'Archéologie, Direction Régionale des Affaires Culturelles – Provence-Alpes-Côte d'Azur), et un projet ACI Jeunes Chercheurs [« *Le risque hydrologique dans le delta du Rhône au Moyen Âge. Evaluation, gestion et impact sur la dynamique évolutive de l'occupation du sol* » (2002/2004)], coordonné par G. Arnaud-Fassetta (université Paris 7/PRODIG), ont permis de progresser dans ce questionnement, notamment dans la connaissance du développement des sociétés dans le delta du Rhône et de leurs interactions avec le fonctionnement et le régime du fleuve. À travers le bilan de ces quinze années de recherches, nous abordons plus particulièrement 1) la caractérisation et la périodisation des aléas hydroclimatiques dans le delta du Rhône, 2) la nature de l'habitat, les modes d'occupation qui s'y rattachent et la vulnérabilité des sites et 3) l'évolution du risque fluvial entre l'époque grecque et le haut Moyen Âge.

L'aléa hydroclimatique dans le delta du Rhône

Cadre paléohydrographique

Dans le delta du Rhône, les données paléohydrographiques dérivent de l'interprétation de nombreuses coupes stratigraphiques et carottes profondes couplées à la photointerprétation des formes fluviales encore visible dans les modelés de surface (Fig. 2). Le réseau hydrographique a toujours été replacé dans son environnement deltaïque associé à ses marges continentales. Depuis la Protohistoire, les cartes paléohydrographiques montrent la vitesse à laquelle le réseau s'est développé avant l'achèvement des travaux d'endiguement à la fin du XIXe s. Sur la période qui nous intéresse, le réseau hydrographique est constitué par le paléo-Rhône d'Ulmet à l'est, le paléo-Rhône de Saint-Ferréol au centre et le paléo-Rhône d'Albaron-Peccaïs à l'ouest (Fig. 3). L'extension du réseau hydrographique est allée de pair avec la progradation de la plaine deltaïque, contrôlée par le ralentissement de la

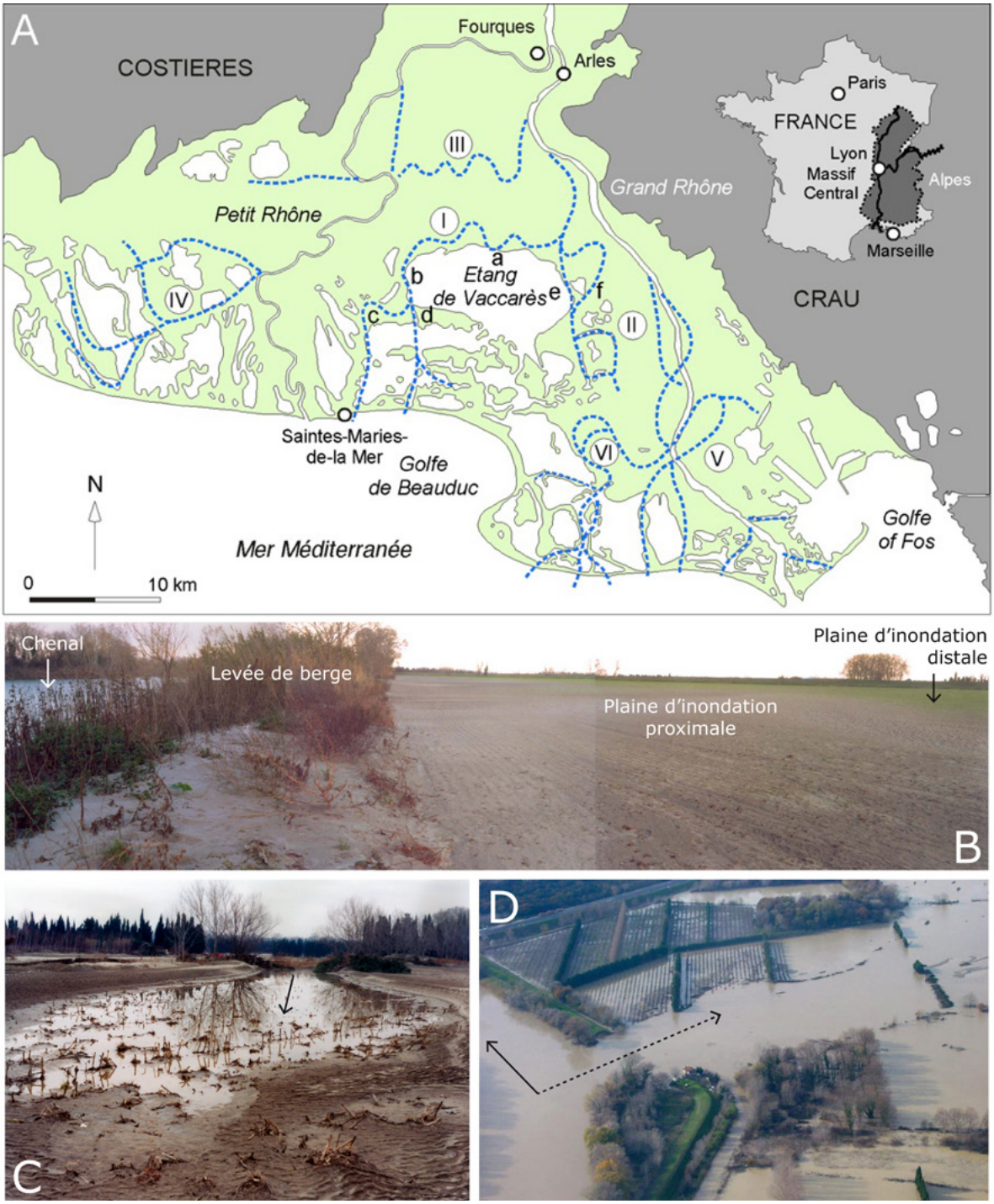


Fig. 1. Localisation des sites géoarchéologiques étudiés et analogues morphosédimentaires contemporains. A : Le delta du Rhône. I : Rhône de Saint-Ferréol ; II : Rhône d'Ulmet ; III : Rhône d'Albaron ; IV : Rhône de Peccaïs ; V : Rhône du Grand Passon ; VI : Rhône du Bras de Fer ; a : site de Cabassole ; b : site du Carrelet ; c : site des Combettes ; d : site de Mornès ; e : site du Pont Noir ; f : site de La Capelière. B : Dépôts de levée de berge et de plaine d'inondation lors de la crue de décembre 2003 dans le delta du Rhône, site de Fourques, Petit Rhône (photo : G. Arnaud-Fassetta, décembre 2003). C : Chenal de delta de rupture de levée (DRL) lors de la crue de décembre 2003 dans le delta du Rhône, site de Petit Argence, Petit Rhône (photo : G. Arnaud-Fassetta, décembre 2003). D : Chenal de DRL lors de la crue de décembre 2003 dans le delta du Rhône, site de Petit Argence, Petit Rhône. Sans les interventions humaines et le remblaiement de la brèche ouverte dans la digue du Rhône, le chenal de DRL pouvait conduire à une défluviation (photo : Syndicat mixte de protection et de gestion de la Camargue gardoise, décembre 2003).

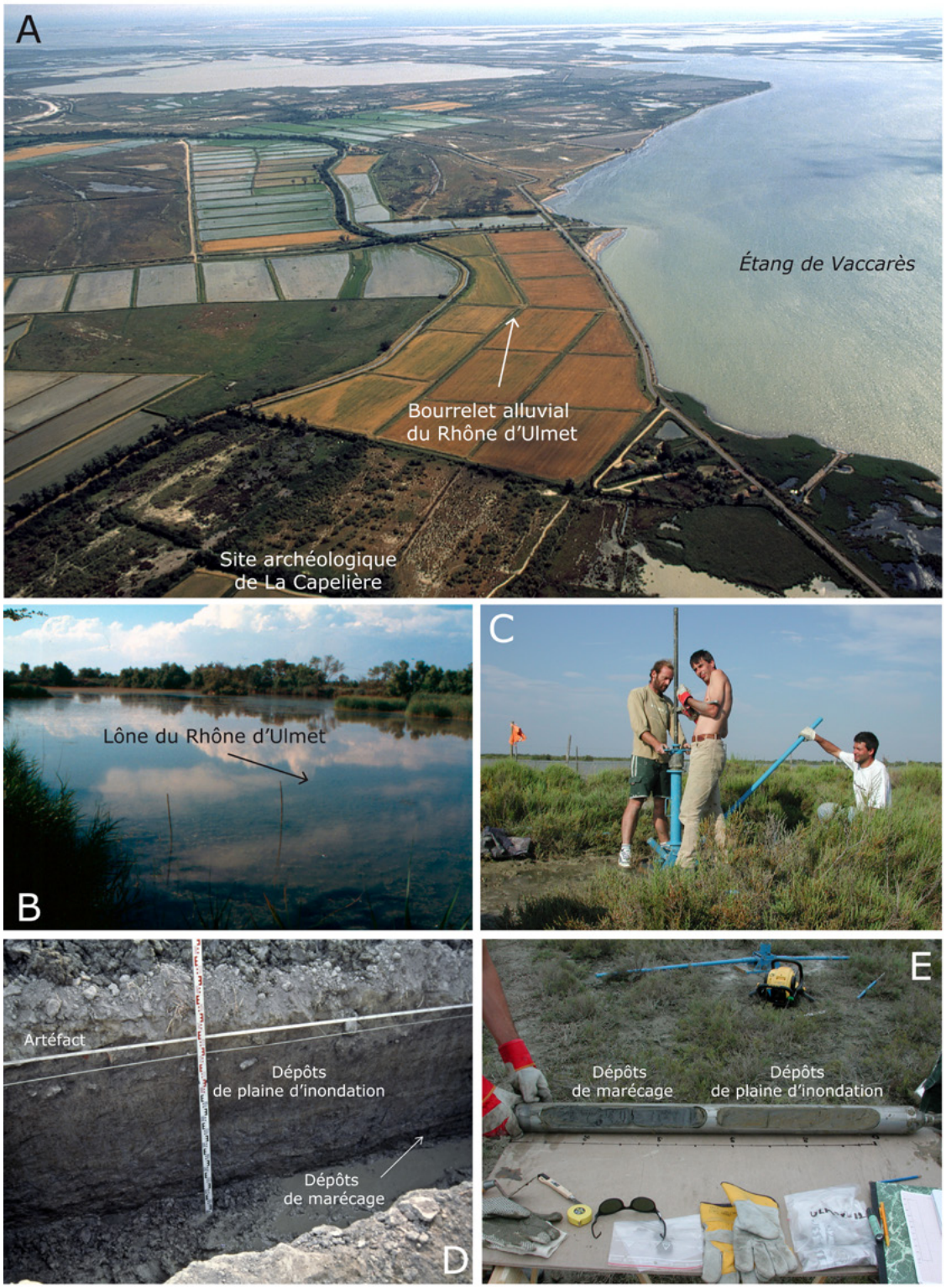


Fig. 2. Acquisition des données hydrogéomorphologiques (exemple du Rhône d'Ulmet). A : Photographie aérienne du site archéologique de La Capelière replacé dans son contexte (paléo)environnemental (photo : C. Hussy, juin 1998). B : La lône du Rhône d'Ulmet sur le site de La Capelière (photo : G. Arnaud-Fassetta, juillet 2001). C : L'utilisation d'une tarière motorisée sur le site de l'Abbaye d'Ulmet (photo : M. Charlet, juillet 2002). D : Coupe stratigraphique du site de La Capelière (photo : C. Landuré, juillet 1999). E : Carotte sédimentaire extraite d'un sondage réalisé sur le site de l'Abbaye d'Ulmet (photo : G. Arnaud-Fassetta, juillet 2002).

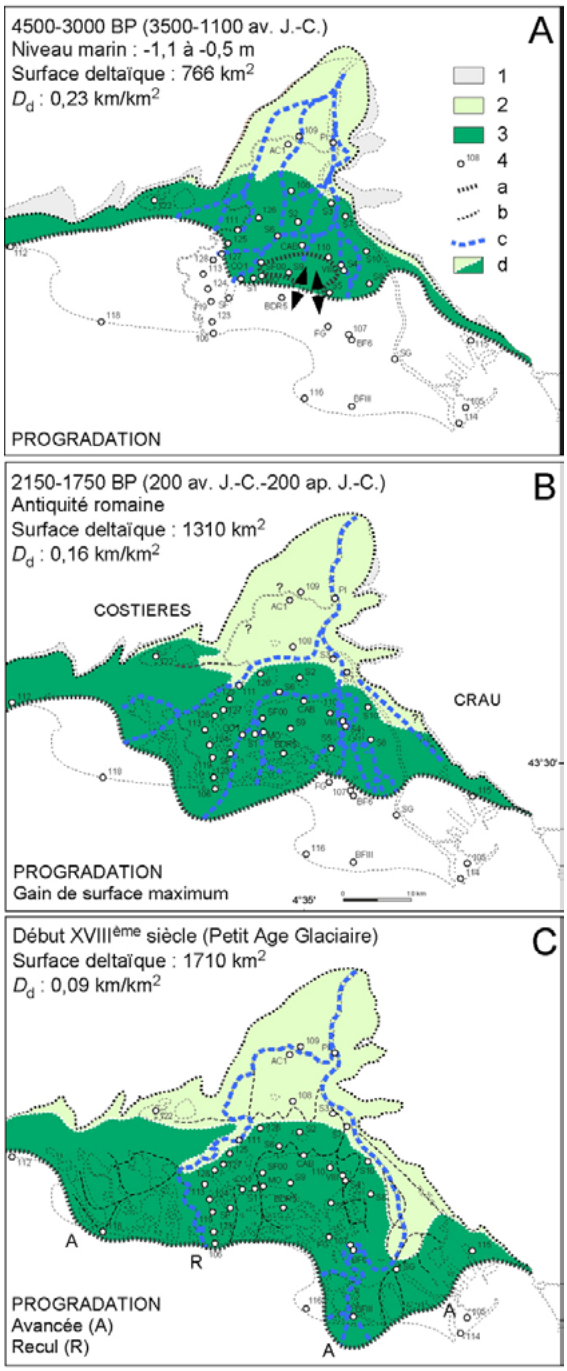


Fig. 3. Évolution hydrogéomorphologique et paléohydrographique dans le delta du Rhône de la Protohistoire aux Temps Modernes. 1 : environnement continental doux ; 2 : environnement deltaïque doux ; 3 : environnement deltaïque saumâtre-salé ; 4 : carotte sédimentaire ; a : trait de côte ; b : paléochenal du Rhône ; c : limite de l'aire deltaïque ; d : limite hypothétique entre les environnements deltaïques doux et saumâtres-salés. Noter le maximum de la progradation deltaïque entre 3500-1100 av. J.-C. et 200 av. J.-C.-200 apr. J.-C. et la réduction de la densité de drainage au cours des Temps Modernes, d'origine anthropique.

remontée du niveau marin relatif et l'alluvionnement du Rhône. La densité de drainage (*i.e.*, nombre et longueur des paléochenaux) a aussi évolué, ce qui, avec les fluctuations de régime, a certainement modifié l'impact des crues sur les communautés riveraines.

Magnitude/fréquence, typologie et impact hydromorphologique d'un phénomène physique naturel

L'aléa hydroclimatique est représenté par les crues du Rhône dans l'aire deltaïque. Dans le Bas-Rhône, les crues ont souvent une origine méditerranéenne. Mais, de par l'étendue et la diversité du bassin-versant, les crues peuvent se généraliser à l'ensemble du réseau hydrographique qui devient alors vecteur d'inondations de grande ampleur. Aujourd'hui, la récurrence de tels événements est généralement d'ordre $Q_{30\text{-}100}$. Moins violentes que les crues brutales qui affectent les affluents rhodaniens comme l'Ardèche et l'Ouvèze, les crues fluviales entraînent dans la plaine deltaïque des phénomènes de submersion lente à cause du délai nécessaire à la concentration des eaux dans l'ensemble du bassin-versant. Leur vitesse d'écoulement est donc peu élevée mais leurs impacts hydromorphologiques sont tels qu'elles peuvent provoquer d'importants dégâts lors des ruptures de berge, comme ce fut le cas en 1993-1994 et en 2003 (Arnaud-Fassetta, 1996, 2013).

Dans le delta du Rhône, la magnitude, la fréquence et l'impact hydromorphologique de l'aléa hydroclimatique dépendent de cinq principaux facteurs hydrogéomorphologiques :

1) Le régime hydrologique : sa variabilité à l'échelle du Bas-Rhône conditionne la fréquence des débits extrêmes et la hauteur des inondations. Ainsi, l'aléa de crue apparaît fortement dépendant de la variabilité climatique historique ; il est plus fréquent en période de forte abondance hydrologique moyenne.

2) L'hydrographie : la subdivision du réseau hydrographique, qui entraîne une hiérarchisation des différents bras (majeurs, mineurs), conditionne la géographie du risque fluvial.

3) La géométrie du chenal : la capacité maximale d'absorption des flux de crue dépend de la section mouillée à pleins-bords. Celle-ci est plus ou moins réduite selon la densité des bancs et des îles ; elle varie aussi selon le type de segment fluvial (section à méandres, divagante ou rectiligne, embouchure) et la hauteur des berges.

4) Les possibilités de submersion de la plaine d'inondation : elles dépendent en particulier de son relief (*sensu stricto*), de la géométrie du chenal (cf. *supra*) et des relations entre le chenal et le système phréatique. Dans le delta du Rhône, les niveaux

phréatiques s'ajustent généralement à la hauteur d'eau moyenne du fleuve (*i.e.*, débit moyen). Cependant, d'autres facteurs peuvent intervenir, comme la perméabilité des alluvions de la plaine d'inondation et le bilan hydrique saisonnier.

5) La vitesse d'évacuation des flots de crue : dans la plaine deltaïque, elle est rapide dans les secteurs de plus forte pente et forcément plus lente lorsque la pente du chenal diminue, comme vers l'embouchure. Les conditions météo-marines jouent aussi un rôle important dans l'accroissement (vents de NW, décotes marines) ou la réduction (vents de SE ou de SW, surcotes marines) de la durée de submersion dans le delta.

Ainsi, si l'aléa hydroclimatique apparaît fortement dépendant de ces cinq facteurs, son expression géomorphologique se fait à travers l'occurrence isolée ou combinée de trois phénomènes majeurs : les épandages de plaine d'inondation, les deltas de rupture de levée et les défluviations (Arnaud-Fassetta, 2000 ; Crichton et Siboni, 2001).

Les épandages de plaine d'inondation

Les épandages de plaine d'inondation correspondent à des sédiments fins déposés par les crues. Le volume et la texture de ces dépôts sont directement fonction de la topographie de la plaine, de la puissance fluviale, de la capacité de transport et de la productivité organique. Tous ces paramètres dépendent de la distance de dépôt par rapport au chenal d'écoulement. Ils incluent les dépôts de plaine d'inondation proximale et distale (Arnaud-Fassetta, 1996 ; Fig. 1B).

Dans la plaine d'inondation proximale (*i.e.*, proche du chenal et de ses berges), les dépôts s'accumulent sous forme d'épandages ou d'éventails plus ou moins bosselés. Les sédiments sont composés de limons plus ou moins sableux, transportés par suspension. Le pourcentage de sable, variable, est en moyenne compris entre 25 et 35 %, avec une médiane granulométrique comprise entre 0,01 mm et 0,05 mm. La variabilité granulométrique des dépôts est souvent fonction de la puissance de la crue. Les taux de sédimentation moyens sont en général faibles (< 2 mm/a) à l'échelle de plusieurs siècles mais plusieurs décimètres de sédiments peuvent s'accumuler au cours d'un seul événement (Arnaud-Fassetta, 1996, 2013). Les processus de pédogenèse et de bioturbation en particulier détruisent *quasi* intégralement les structures sédimentaires originelles.

Dans la plaine d'inondation distale, les sédiments sont constitués des grains les plus fins, déposés par décantation. Leur granularité est plus stable : elle est dominée par les limons argileux, avec une médiane comprise entre 0,005 et 0,01 mm. La fraction sableuse est négligeable, ne dépassant guère 10 %. La forte productivité organique, les faibles taux de sédimentation et la présence d'une nappe d'eau (sub-) permanente sont des conditions favorables à la bonne conservation des débris organiques et au développement de passées tourbeuses.

Les deltas de rupture de levée

Les deltas de rupture de levée (DRL) sont liés à l'ouverture de brèches dans les berges lors de débits excessivement élevés et morphogènes. Localisés le long des chenaux distributaires, ils forment de larges lobes d'épaisseur variable (0-4 m) qui prennent la forme de langues sableuses étirées perpendiculairement ou tangentiellement par rapport au chenal principal en direction du bassin d'inondation (Arnaud-Fassetta, 2013 ; Fig. 1C). Les DRL sont connectés au chenal principal par un chenal distributaire auquel se raccorde un système complexe de petits chenaux anastomosés ou divagants conduisant les flots de crue vers le bassin d'inondation. La compétence des écoulements décroît donc de la brèche jusqu'aux parties distales. Le pourcentage de sables varie de 35 à 95 % (chenaux de crevasse) et de 70 à 100 % (lobes de crevasse), pour des médianes granulométriques variant respectivement de 0,2 mm à 0,5 mm et de 0,1 à 20 mm. Les DRL contribuent à accélérer très rapidement (jusqu'à 4 m/quelques heures) les taux de sédimentation dans la plaine deltaïque. Les processus dominants sont d'une part l'aggradation par dépôt de la charge de fond associée à la suspension et d'autre part la progradation vers le bassin d'inondation et les lagunes interfluviales. Le temps d'édification est très court, de quelques jours dans les hydrosystèmes anthropisés à quelques années en conditions « naturelles » (Smith *et al.*, 1989).

Les défluviations

Les défluviations traduisent l'abandon d'un tronçon fluvial au profit d'un nouveau. Ce phénomène résulte d'un rapide déplacement latéral du chenal ou d'un processus plus lent lié au développement d'un DRL, dans un contexte d'aggradation du bassin d'inondation et de coalescence de plusieurs chenaux. Les défluviations se répartissent en deux catégories : celles liées à la réoccupation d'un ancien chenal et celles mises en place par division du réseau hydrographique dans un bassin d'inondation (Fig. 1D). L'ancien chenal peut être réoccupé si le processus d'aggradation est graduel, dans un contexte où la fourniture sédimentaire limite l'accroissement de l'espace d'accommodation (*i.e.*, espace disponible pour le développement du prisme sédimentaire). Les défluviations liées à la division des chenaux dans le bassin d'inondation sont fréquentes quand les vitesses

d'aggradation, modérées, permettent de délivrer un important espace d'accommodation. La fréquence de défluviation (*i.e.*, le temps nécessaire pour qu'une défluviation se produise et qu'un nouveau chenal s'établisse) est très variable. Dans le delta du Rhin-Meuse, elle est dépendante de quatre principaux facteurs interagissant à l'Holocène : les fluctuations positives du niveau marin relatif, la néotectonique, un renforcement des débits liquides, la sédimentogenèse du chenal et les actions humaines (Stouthamer et Berendsen, 2000). Les auteurs mettent plutôt en avant l'importance de la variabilité hydrosédimentaire entre 2800 BP et 1000 BP, ce qui correspond à la période étudiée ici. Les travaux dans le delta du Rhône ont montré que les fréquences de défluviation sont comprises entre 850 ans et 2 300 ans (moyenne : 1 450 ans) au cours des huit derniers millénaires (Arnaud-Fassetta, 2004).

En conséquence, les épandages de plaine d'inondation, les DRL et les défluviations n'ont pas la même valeur en termes de contraintes pour les sociétés. Pour les premiers, ils ne représentent pas une contrainte fluviale forte mais plutôt un bienfait pour les sociétés rurales pratiquant l'agriculture et l'élevage dans la plaine deltaïque ; si contrainte il y a, elle résulte moins de l'alluvionnement que de la hauteur, de la puissance et de la durée de submersion des flots de crue. Les DRL et les défluviations représentent quant à eux une contrainte fluviale forte, du fait 1) de l'énergie que libère l'inondation lorsqu'elle se produit sous cette forme (par exemple : > 10 W/m^2 lors de l'ouverture des brèches en décembre 2003 ; Arnaud-Fassetta, 2013), 2) des transformations géomorphologiques et spatiales qu'elle entraîne et 3) de l'imprévisibilité même du phénomène. Les traces d'anciens épandages de plaine d'inondation, de DRL et de défluviations sont nombreuses dans le delta ; interprétées à la lumière des analogues actuels (Fig. 1 B à D ; Arnaud-Fassetta, 2007), elles ont permis de reconstituer les grands traits du réseau hydrographique et du régime hydrologique du Rhône à l'échelle du delta.

Comment caractériser la complexité/variabilité du régime hydrologique du bas Rhône ?

Selon les périodes, le régime hydrologique du Bas-Rhône, qui résulte, de façon séparée ou concomitante, d'une alimentation glaciaire, nivale et pluviale sur fond d'influences océanique et méditerranéenne, s'articule autour de trois états possibles, de type « régime dominé par les crues » (RDC), « régime dominé par des crues irrégulières » (RDCI) et « régime dominé par les basses eaux » (RDBE).

Les périodes de RDC

Les RDC relèvent d'une forte activité hydrodynamique. Le régime hydrologique du Rhône est soutenu par des débits moyens élevés, accompagnés de fréquents épisodes de crue de haute énergie.

Dans le chenal, les processus de remblaiement sont très actifs, liés à des apports sédimentaires abondants et fréquents. Ils favorisent le développement d'un style divagant (*i.e.*, le « tressage deltaïque » d'Arnaud-Fassetta, 1998), caractérisé par des bras multiples peu profonds, qui enserrent des bancs sableux relativement nombreux. Les sables moyens à fins qui les constituent impliquent une forte compétence du Rhône, qui peut atteindre 0,61 mm. Les chenaux partiellement remblayés favorisent le développement des défluviations et des DRL.

Dans la plaine d'inondation, l'extension des paluds et le relèvement généralisé des niveaux phréatiques se font en accord avec un chenal peu profond et un débit moyen élevé. L'engorgement fréquent

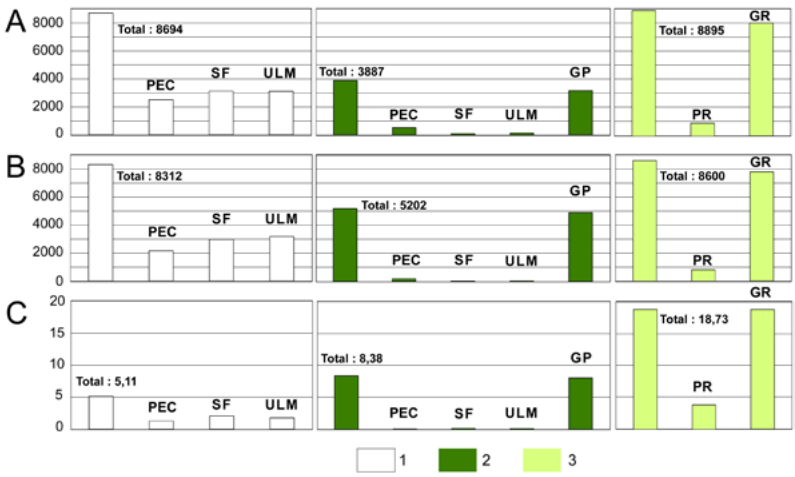


Fig. 4. Paléohydraulique de quelques paléochenaux du Rhône dans son aire deltaïque. A : Capacité du chenal à pleins bords (en m^2). B : Débit de pleins bords (en m^3/s). C : Puissance spécifique à pleins bords (en W/m^2). 1 : Antiquité tardive-haut Moyen Âge ; 2 : bas Moyen Âge ; 3 : aujourd'hui ; SF : Rhône de Saint-Ferréol ; ULM : Rhône d'Ulmet ; PEC : Rhône de Peccaïs ; GP : Rhône du Grand Passon ; GR : Grand Rhône ; PR : Petit Rhône.

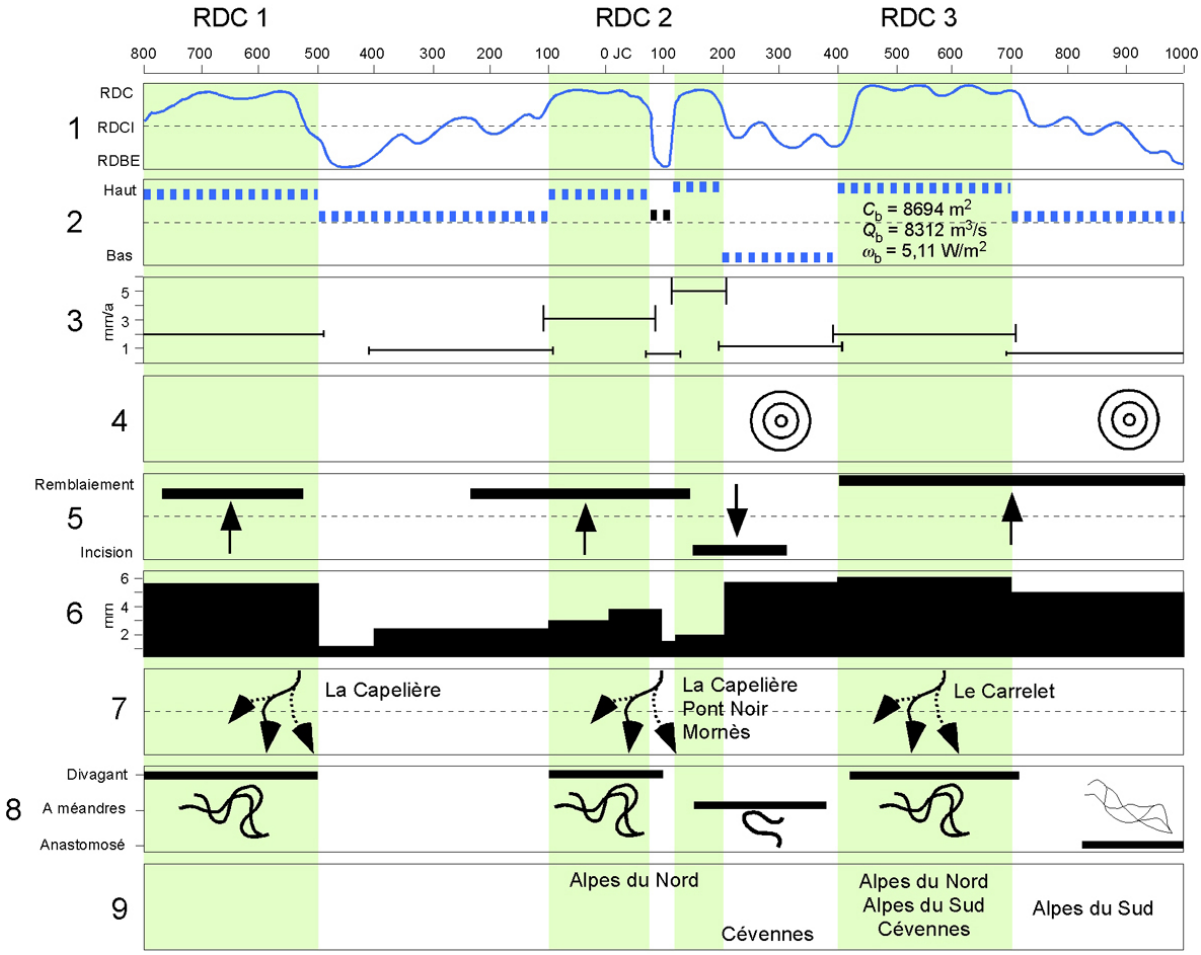


Fig. 5. Synthèse du fonctionnement paléohydrologique du Rhône dans son delta, révélant l'existence de trois périodes de « régime dominé par les crues » (RDC) entre 800 av. J.-C. et 1000 apr. J.-C. (d'après Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003, modifié). 1 : régime hydrologique ; 2 : débit moyen et niveau phréatique ; 3 : taux de sédimentation dans la plaine d'inondation ; 4 : pédogenèse dans la plaine d'inondation ; 5 : géométrie du chenal ; 6 : compétence du chenal ; 7 : défluviations et DRL ; 8 : style fluvial ; 9 : zones sources des sables du chenal.

des sols limite la pédogénéisation de l'*alluvium*. Les séquences alluviales sont caractérisées par une grande homogénéité granulométrique et la présence régulière d'unités « grossières » (sables fins et limons) implique une compétence maximale élevée (0,2-0,27 mm) et constante des flots d'inondation. Les taux de sédimentation sont importants (2-5 mm/a), liés à une importante fourniture sédimentaire provenant de l'érosion des sols dans le bassin-versant et/ou à des débordements fréquents favorisés par un chenal en cours de remblaiement.

Les périodes de RDCI

Lors de ces périodes, le régime hydrologique du Rhône est caractérisé par un débit moyen relativement bas, ponctué de quelques épisodes de crue de haute énergie, qui induisent temporairement le rehaussement des niveaux hydrologiques.

Dans le chenal, les dépôts alluviaux sont caractérisés par une alternance d'unités sableuses, déposées pendant les crues, et d'unités limono-sableuses mises en place en période de bas régime. La compétence maximale du Rhône ne dépasse jamais 0,5 mm. Les apports de crue sont trop rares pour permettre le remblaiement durable du chenal, de sorte que celui-ci reste soumis à une incision récurrente.

Dans la plaine d'inondation, la forte variabilité interannuelle des débordements se marque par des oscillations granulométriques significatives d'une séquence de crue à l'autre. Les dépôts grossiers (sables limoneux) alternent avec des dépôts très fins (limons argileux). La compétence maximale des flots d'inondation est comprise entre 0,19 et 0,26 mm. L'incision du chenal 1) limite les débordements, ce qui se marque par des taux de sédimentation faibles (0,6-1,6 mm/a) et 2) abaisse les niveaux phréatiques, de sorte que le

bon drainage de la plaine d'inondation devient favorable à l'activité des animaux fouisseurs (lombrics) et au développement des biosols.

Les périodes de RDBE

Les RDBE reflètent un régime hydrologique régulier ; les crues de haute magnitude sont très rares, voire inexistantes.

Dans le chenal, les alluvions sont plus fines, constituées de sables fins enrichis par une fraction limoneuse abondante : la compétence maximale du Rhône est faible (0,4-0,46 mm). Les débits moyens sont bas, en raison d'une alimentation réduite du bassin hydrographique et/ou de l'incision tendancielle du chenal. Le contexte de pénurie sédimentaire limite la présence de bancs sableux et le style fluvial évolue plutôt vers le méandrage ou l'anastomose.

Dans la plaine d'inondation, la mise en place de dépôts très fins (limons argileux) est liée à des processus de décantation prédominants. La compétence maximale des flots d'inondation est faible (0,12-0,2 mm), en relation avec l'hydraulicité très atténuée du Rhône. Les taux de sédimentation sont très faibles (0,5-0,6 mm/a) car les processus d'érosion dans le bassin-versant sont limités et les débordements peu fréquents. Une fourniture sédimentaire peu abondante et de bas niveaux phréatiques augmentent les possibilités de pédogénéisation des alluvions.

La mesure des conditions hydrauliques dans les paléochenaux fluviatiles

Des estimations paléohydrauliques ont permis de quantifier la capacité des paléochenaux ainsi que leur débit et leur puissance spécifique, pour deux périodes données : l'Antiquité tardive-haut Moyen Âge et le bas Moyen Âge (Fig. 4). Les calculs dérivés de la géométrie hydraulique du Rhône actuel ont servi de référents et de contrôle. Les résultats montrent qu'aujourd'hui, la capacité des deux bras du delta (Grand Rhône et Petit Rhône) approche à pleins bords 8 895 m^2 (moyenne de 140 sections en travers). Durant l'Antiquité tardive, les trois bras principaux (Saint-Ferréol, Ulmet et Peccaïs) ont eu une capacité à pleins bords estimée à 8 695 m^2) ; cette valeur est donc très proche de la valeur actuelle. Au bas Moyen Âge, la capacité des chenaux du Rhône (Grand Passon, Saint-Ferréol, Ulmet, Peccaïs) n'a pas dépassé 3 890 m^2 à pleins bords. Cette faible valeur pourrait signifier qu'une large part des flux liquides transitant dans la plaine deltaïque se fait en dehors des bras majeurs. Dans ce cas, l'impact de l'aléa a dû être plus marqué car les crues sont plus débordantes. Du reste, ces résultats sont confirmés par l'estimation des paléodébits. Durant l'Antiquité tardive-haut Moyen Âge, les puissances spécifiques sont bien réparties sur l'ensemble de la plaine deltaïque. Au bas Moyen Âge, elles se concentrent et s'accroissent dans la partie orientale du delta, *de facto* plus marqué par l'aléa de crue.

Variabilité de l'aléa hydroclimatique de 800 av. J.-C. à 1000 apr. J.-C.

La synthèse des recherches réalisées sur l'aléa hydroclimatique dans le delta du Rhône aboutit à démontrer l'existence de fluctuations pluriséculaires, en particulier trois périodes de RDC interrompues par des périodes de moindre activité hydrologique, de type RDCI ou RDBE (Fig. 5). En aval d'Arles, les flux du Rhône s'écoulent alors par trois bras majeurs : Ulmet à l'est, Saint-Ferréol au centre et Albaron-Peccaïs à l'ouest.

800-500 av. J.-C. : RDC 1

Il s'exprime sur le site de La Capelière par une forte instabilité latérale des paléochenaux du Rhône d'Ulmet, propice aux défluviations, aux DRL et à la mise en place de vastes épandages sableux dans la plaine d'inondation proximale ; de hauts niveaux phréatiques favorisent l'extension des plaines palustres du nord au sud du delta (Cabassole, La Capelière).

500-400 av. J.-C. : RDBE 1

Elle survient dans un contexte où l'activité alluviale s'atténue. Le chenal du Rhône d'Ulmet est affecté par quelques crues importantes, à l'origine de la mise en place d'épandages sablo-limoneux dans la plaine d'inondation proximale sur le site de La Capelière. Sur le site de Cabassole, les apports du Rhône de Saint-Ferréol sont très fins, la compétence maximale ne dépassant pas 0,12 mm dans la plaine d'inondation.

400-100 av. J.-C. : RDCI 1

L'hydrologie du Rhône devient plus contrastée alors que sa compétence se renforce occasionnellement. Dans la plaine d'inondation (Cabassole), l'hétérogénéité des dépôts reflète un régime hydrologique calme entrecoupé de quelques crues violentes. La compétence maximale (0,24 mm) augmente mais les taux de sédimentation restent modérés (0,6-1,2 mm/a), ce qui suppose une faible fourniture sédimentaire du bassin-versant et/ou des débordements peu fréquents. La même tendance est observée sur le site de La Capelière.

100 av. J.-C.-200 apr. J.-C. : RDC 2

Il s'organise en deux phases (RDC 2a, RDC 2b), entrecoupées d'une brève phase (50 ans) de RDBE 2 entre 75 et 125 apr. J.-C. (Arnaud-Fassetta, 2002).

- 100 av. J.-C.-75 apr. J.-C. : RDC 2a. Vers 100 av. J.-C., le développement de DRL sur les sites de Mornès et de La Capelière marque une phase d'instabilité importante du Rhône. Entre 30 av. J.-C. et 110 apr. J.-C., la montée des hauteurs d'eau moyennes du Rhône entraîne sur le site du Carrelet l'atterrissement latéral du chenal de Saint-Ferréol, dont les berges doivent être rehaussées et renforcées par un enrochement hydraulique (cf. *infra*). Entre 100 av. J.-C. et 75 apr. J.-C., le renforcement de la compétence maximale (0,25 mm) des flots d'inondation est enregistré sur le site de Cabassole. Les taux de sédimentation importants (2-4 mm/a) traduisent des débordements fréquents et/ou une fourniture sédimentaire élevée. Le développement des hydrophytes conforte l'image d'un delta plus dulcicole et plus humide, qui s'accompagne d'une phase de progradation significative.

- 75-125 apr. J.-C. : RDBE 2. Un bref apaisement de l'activité alluviale se traduit sur les sites de Cabassole et des Combettes par la diminution de la compétence maximale (0,16 mm) des flots d'inondation du Rhône.

- 125-200 apr. J.-C. : RDC 2b. Une recrudescence de l'activité alluviale est enregistrée sur le site du Carrelet. Elle coïncide avec la mise en place de dépôts limoneux très épais (0,85 m) dans la plaine d'inondation du Rhône de Saint-Ferréol. La compétence maximale des flots d'inondation est constante mais ne dépasse pas 0,2 mm (*i.e.*, en deçà de celle atteinte durant RDC 2b). Les taux de sédimentation très élevés (6-13 mm/a) indiquent soit que la fourniture sédimentaire est importante, soit que l'aggradation de la plaine deltaïque est modérée, en réponse à la phase de progradation précédemment entamée.

200-450 apr. J.-C. : RDBE 2

La charge solide disponible est insuffisante pour compenser la forte capacité de transport du fleuve. Ainsi, le plancher alluvial du Rhône de Saint-Ferréol au Carrelet connaît une phase d'incision marquée entre 150 et 310 apr. J.-C. La compétence maximale du Rhône reste cependant soutenue (0,6 mm). Dans la plaine d'inondation (Cabassole, Carrelet, Combettes), la compétence maximale ne dépasse pas 0,19 mm et les dépôts sont constitués majoritairement de fines, malgré quelques niveaux plus grossiers qui attestent de crues plus dynamiques. L'absence de faciès de décantation signe des débordements peu fréquents. En fait, cette situation décrit un régime hydrologique calme, ponctué de quelques épisodes de crue de forte magnitude. Les taux de sédimentation sont généralement faibles (0,8-1,6 mm/a), en relation avec le chenal incisé (*i.e.*, moins débordant). Entre le milieu du IVe et le début du Ve s. apr. J.-C., la construction d'un établissement rural à Cabassole laisse supposer un bon drainage des basses terres.

450-700 apr. J.-C. : RDC 3

La plupart des sites camarguais enregistrent une rupture hydrodynamique. Le chenal du Rhône de Saint-Ferréol subit un remblaiement important (Carrelet), favorisant le développement des DRL (Carrelet, Combettes). La compétence maximale du Rhône atteint 0,61 mm alors que son débit et sa puissance spécifique à pleins bords sont respectivement de 8 310 m^3/s et 5,1 W/m^2. L'analyse des minéraux lourds montre que les sédiments transportés par le Bas-Rhône proviennent de l'ensemble du bassin-versant (Alpes, Massif Central ; Arnaud-Fassetta, 2000). Dans la plaine d'inondation, les dépôts deviennent plus grossiers, en relation avec l'augmentation de la compétence maximale qui atteint 0,24 mm. Les taux de sédimentation sont importants (1,3-2,7 mm/a), en relation avec un chenal plus débordant. L'augmentation très nette des espèces ligneuses, notamment celles de la ripisylve, traduit une recrudescence des apports d'eau douce dans la plaine alluviale.

700-1000 apr. J.-C. : RDCI 3

Cette période correspond à une atténuation saccadée mais durable de l'hydrodynamique fluviale sur l'ensemble de la Camargue. Propre au delta, cette situation est consécutive de la réduction graduelle de l'activité des bras de Saint-Ferréol et d'Ulmet au profit du Rhône du Grand Passon, actif dès la fin du Xe s. apr. J.-C. Dans le chenal, la compétence maximale diminue jusqu'à 0,5 mm. Sur les sites de Cabassole et du Carrelet, la plaine d'inondation enregistre une réduction de la compétence maximale, qui chute à 0,2 mm. Le taux de sédimentation s'atténue aussi très fortement (0,5-0,7 mm/a). Au bas Moyen Âge, le débit et la puissance spécifique à pleins bords du Rhône ne dépasseront plus guère 35 m^3/s et 0,15 W/m^2 (Saint-Ferréol), 50 m^3/s et 0,1 W/m^2 (Ulmet) et 200 m^3/s et 0,1 W/m^2 (Peccaïs), alors que le Rhône du Grand Passon devient le bras le plus actif (5 595 m^3/s et 8,1 W/m^2).

En conclusion, trois périodes de RDC ponctuent l'évolution paléohydrologique du delta du Rhône de 800 av. J.-C. à 1000 apr. J.-C. Elles sont associées aux dégradations des conditions climatiques dans le bassin-versant et l'éco-région, plus ou moins exacerbées par les activités humaines (Bravard *et al.*, 1992 ;

Magny, 1992 a et b ; Stuiver et Braziunas, 1993 ; Patzelt, 1994 ; Berger, 1996 ; Jorda et Provansal, 1996 ; Arnaud-Fassetta, 1998).

- La phase d'intense paludification qui caractérise le RDC 1 (800-500 av. J.-C.) pourrait être l'expression d'un bilan pluviométrique excédentaire, reconnu comme tel dans presque tout le bassin-versant (Magny, 1992b ; Jorda et Provansal, 1996 ; Bravard *et al.*, 1997 ; Bruneton, 1999), associé à une oscillation fraîche du climat à l'échelle de l'Europe occidentale (Van Geel *et al.*, 1996).

- Les deux phases de RDC 2 (100 av. J.-C.-75 apr. J.-C. et 125-200 apr. J.-C.) pourraient être liées à une plus grande instabilité des conditions climatiques (*i.e.*, des aléas de crue plus fréquents). Elles apparaissent en phase avec le fonctionnement paléohydrologique du Rhône amont et moyen (Bravard *et al.*, 1997) et de ses affluents alpins (Peiry, 1997), mais également avec le bassin-versant aval (Provansal *et al.*, 1999 ; Bruneton *et al.*, 2001). En revanche, ces RDC n'ont laissé que peu de traces significatives dans les archives sédimentaires du bassin durancien et des petits bassins provençaux (Provansal, 1995 ; Jorda et Provansal, 1996).

- Le RDC 3 (450-700 apr. J.-C.) pourrait être mis en relation avec un accroissement de la pluviométrie associé à une récurrence fraîche, dans tout le bassin-versant du Rhône et son hydro-écorégion (Zoller, 1977 ; Magny, 1992a ; Patzelt, 1994).

Lors des dégradations climatiques, l'aléa hydroclimatique et ses effets (crues, DRL, défluviations) redoublent d'intensité et de fréquence. Ils peuvent alors devenir un facteur potentiel de renforcement de la vulnérabilité sociétale.

La vulnérabilité des sociétés face à l'aléa hydroclimatique

En Camargue, le recensement de nombreux gisements archéologiques (Landuré *et al.*, 2004) a permis de s'interroger sur la nature et la fonction des sites découverts, ainsi que sur la vulnérabilité des sociétés antiques et médiévales face au fonctionnement du fleuve, ses inondations, ses DRL et ses défluviations (Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003).

Les sites archéologiques recensés dans le delta : localisation, nature/fonction et évolution

Le recensement des gisements archéologiques, grâce notamment aux prospections pédestres, a permis de dénombrer 155 sites dont la date de création est comprise entre le VIe s. av. J.-C. et le Xe s. apr. J.-C. (Fig. 6). En réalité, le nombre de sites pourrait être plus élevé si l'on tient compte de l'enfouissement probable d'un certain nombre d'entre eux, dans un contexte fluvio-deltaïque favorable à l'alluvionnement.

Une occupation plus ou moins continue durant près de seize siècles

Les premières traces d'occupation de la Camargue remonteraient au VIe s. av. J.-C., avec la découverte (ancienne) de fragments de céramiques attiques (Gantès, 2004). Cependant, les fouilles récentes n'ont pas permis de remonter au-delà du Ve s. av. J.-C. L'occupation grecque du delta est confortée par la découverte de 5 gisements repérés principalement en bordure des étangs de Vaccarès et du Fournelet, dans la plaine d'inondation des bras de Saint-Ferréol et d'Ulmet.

Avec 26 gisements répertoriés, la période entre le IIIe et le Ier s. av. J.-C. semble refléter l'amorce d'une dynamique de peuplement. Cette tendance se confirme entre le Ier et le IIIe s. apr. J.-C. avec un nombre de gisements en forte augmentation. Quelques sites sont interprétés avec certitude comme d'importantes *villae*. Ces dernières sont plus particulièrement localisées dans les plaines d'inondation de Haute-Camargue dont la mise en valeur agricole est en relation avec le développement de la colonie romaine d'Arles (Leveau, 1999).

Le nombre de gisements recensés entre le IVe et le VIIe s. apr. J.-C. est en diminution. Cependant, les établissements les plus importants de la période précédente demeurent habités alors que de nouveaux habitats sont créés dans des zones de la plaine d'inondation jusque-là inoccupées. Ces observations pourraient confirmer la continuité du peuplement, en relation avec l'importance de la cité d'Arles (Trément, 2001).

Entre le VIIIe et le Xe s. apr. J.-C., le nombre de sites continue de décroître. Peut-être ce résultat est-il lié 1) aux modes de construction émergents à cette époque, qui, en favorisant l'utilisation de la terre et des matériaux périssables, ont laissé peu de traces au sol (Kotarba, 1988) et/ou 2) à un phénomène de restructuration du peuplement (regroupements de population ; Fossier, 1992 ; Schneider et Paya, 1995).

Des sites implantés en priorité le long des bras du Rhône

En dépit du caractère supposé lacunaire du recensement de sites, la superposition des gisements archéologiques avec la carte des paléochenaux du Rhône fait état d'une occupation humaine dont le mode de répartition est essentiellement tourné vers le fleuve. Toutes périodes confondues, la majeure partie des gisements (79 %) se situe le long des trois bras du Rhône en activité durant l'Antiquité et le haut Moyen Âge.

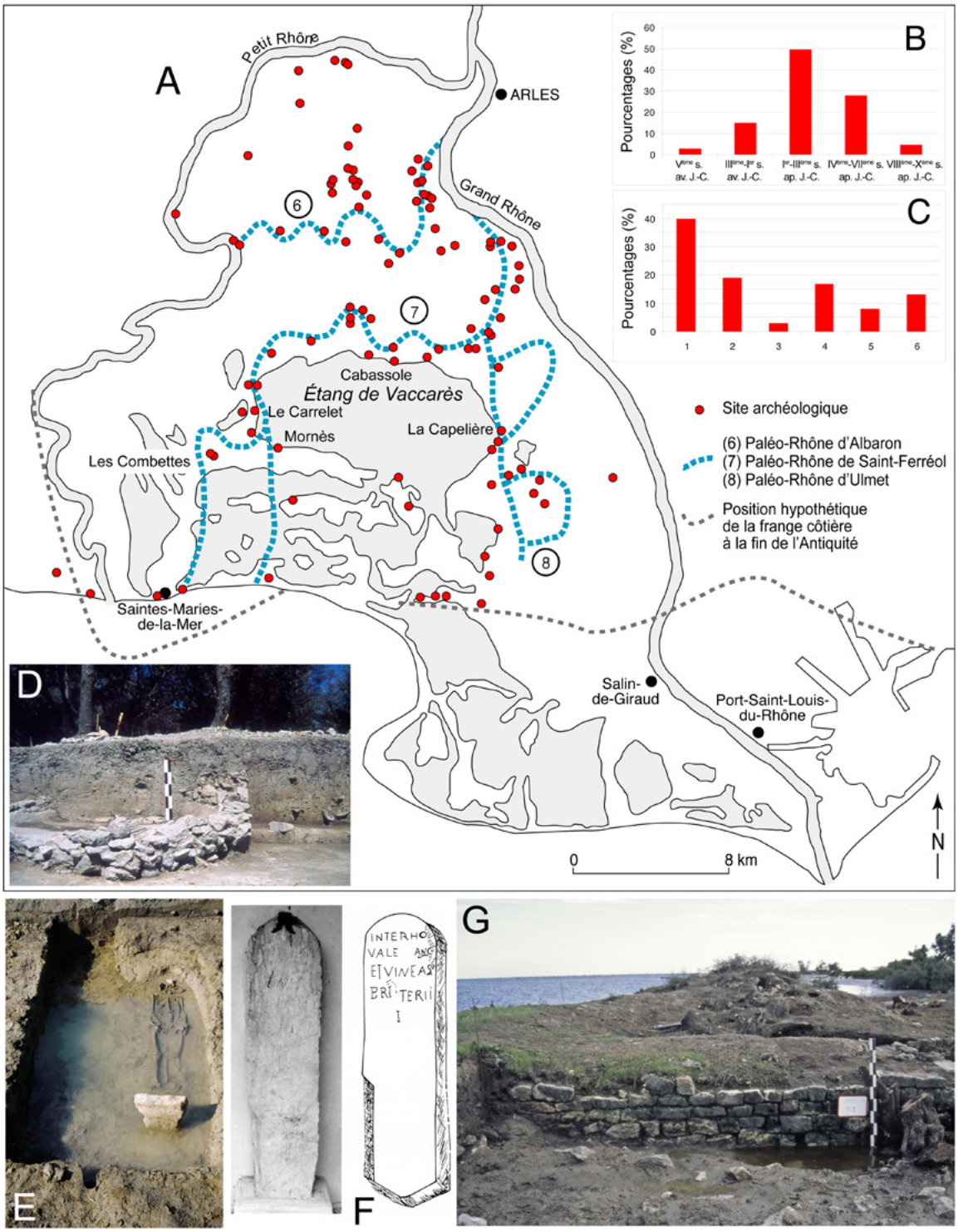


Fig. 6. Paléohydrographie et occupation du sol en Camargue (d'après Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003, complété). A : Carte générale des sites archéologiques recensés en Camargue entre le ve s. av. J.-C. et le xe s. apr. J.-C. B : Évolution du nombre (exprimé en %) de sites archéologiques entre le ve s. av. J.-C. et le xe s. apr. J.-C. C : Localisation des sites archéologiques dans la plaine deltaïque. 1 : sites à proximité du Rhône de Saint-Ferréol ; 2 : sites à proximité du Rhône d'Ulmet ; 3 : sites à proximité de la diffluence entre le Rhône de Saint-Ferréol et le Rhône d'Ulmet ; 4 : sites à proximité du Rhône d'Albaron ; 5 : sites à proximité du rivage côtier ; 6 : autres sites. D : La Capelière (photo : C. Landuré, juillet 2000). E : Cabassole (photo : A. Richier, juillet 1996). F : Mas du Carrelet, borne de propriété, dessin M. Gayraud (1989), photo CNRS/CCJ. G : Le Carrelet (photo : L. Martin, juillet 1995).

Ainsi, 63 sites (soit 40 % du total) ont été répertoriés dans l'aire d'influence directe du Rhône de Saint-Ferréol – sans doute le bras le plus actif mais aussi peut-être le plus stratégique durant la première partie de l'Antiquité –, 29 (soit 19 %) à proximité du Rhône d'Albaron et 26 (soit 17 %) en bordure du Rhône d'Ulmet (Fig. 6). Quatre sites (soit 3 %) sont implantés dans la zone de diffluence des bras de Saint-Ferréol et d'Ulmet. Parmi les sites restants, 13 (soit 8 %) sont situés en bordure du littoral alors que les 20 derniers (soit 13 %) apparaissent à la fois éloignés du littoral et des trois bras du Rhône susnommés.

Au total, la proportion importante (79 %) de sites implantés en bordure des bras du Rhône confirme que la proximité du Rhône est bien le principal facteur de leur localisation dans le delta. Ce choix a été guidé par les prérogatives économiques ; il pose évidemment le problème de la vulnérabilité des sites installés en zone inondable.

Quels modes d'occupation pour quelles ressources/activités économiques ?

Les modes d'occupation et la nature des activités économiques pratiquées en Camargue de 600 av. J.-C. à 1000 apr. J.-C. ont pu être précisés grâce à la fouille géo-archéologique de cinq sites localisés sur les rives de deux anciens chenaux du Rhône (Fig. 6) : le Rhône de Saint-Ferréol [Le Carrelet (Martin, 2004), Cabassole (Richier, 2004), Les Combettes (Landuré et Arnaud-Fassetta, 2004b), Mornès (Landuré et Arnaud-Fassetta, 2004a)] et le Rhône d'Ulmet [La Capelière (Landuré, 2000)].

Du point de vue des modes d'occupation du sol, les sites des Combettes, du Carrelet et de La Capelière ont été interprétés comme des habitats groupés ; le site de Mornès relève peut-être d'un habitat temporaire alors que celui de Cabassole correspond vraisemblablement à un petit établissement rural. Les résultats des fouilles conduites dans le sud de la Camargue (Tour du Valat) ont montré l'existence d'un établissement agricole pour la période antique (Pasqualini, 1999 ; Excoffon *et al.*, 2004). Par ailleurs, les prospections menées en haute Camargue ont permis de repérer de grandes *villae* richement ornées de mosaïques et de peintures murales.

Concernant les activités économiques, les sociétés implantées dans le delta pratiquaient l'agriculture. La plaine d'inondation du Rhône a permis 1) la culture des céréales, comme en témoignent les analyses palynologiques (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2000) et la découverte de meules, et 2) le développement de la viticulture, pour laquelle on mentionnera une borne limite de propriété découverte sur le site du Carrelet, dont l'inscription évoque la présence de vignes accompagnées de jardins (Gayraud, 1989 ; Fig. 6F). Les populations ont également pratiqué l'élevage et ce, dès le Ve s. av. J.-C., comme l'attestent les résultats des fouilles de La Capelière (Forest, 2004).

D'autres activités économiques ont été reconnues, comme l'artisanat. Sur le site du Carrelet, des traces de métallurgie ont été datées de la fin du IVe-début du Ve s. apr. J.-C. (Martin, 2004). Une activité liée à la fabrication de la soude ou du verre semble s'être développée sur le site de Cabassole aux IXe-Xe s. apr. J.-C. (Amouric et Foy, 1991 ; Richier, 2004).

Par ailleurs, pisciculture et saliculture ont été mises en évidence sur le site du Carrelet grâce à la découverte de bassins de salaison datés du Ve s. apr. J.-C. (Martin, 2004). Cette industrie de salaison a sans doute été favorisée par la géographie du site (*i.e.*, proximité des zones de pêche, des terres propices à l'exploitation du sel et d'une voie fluviale navigable pour assurer la diffusion de la production). Par ailleurs, on peut envisager dès le Ve s. apr. J.-C. la présence de marais salants dans la mesure où des salines sont mentionnées dans les textes, il est vrai sans localisation précise (Benoit, 1959). L'hypothèse de L. Stouff (1986), qui est que les salines médiévales mentionnées aux abords de l'Etang de Vaccarès ont sans doute été exploitées antérieurement au XIIIe s. apr. J.-C., garde donc tout son sens.

Enfin, le Rhône a sans doute facilité les contacts entre les sites du delta et leurs possibilités d'approvisionnement en matériaux de construction – notamment les pierres qui étaient acheminées depuis Arles – et en denrées diverses. Son rôle d'interface entre les sites est d'ailleurs montré à travers la variété et l'abondance du matériel céramique retrouvé, reflétant ainsi des courants d'échanges privilégiés entre mer et continent par l'intermédiaire des ports de Marseille et d'Arles (Hirbec, 2004).

Sur la vulnérabilité sociétale

Une forte vulnérabilité, atténuée par l'installation des sites sur les reliefs les plus élevés dans la plaine d'inondation

La proximité du Rhône, privilégiée pour des raisons économiques, a rendu les sociétés vulnérables dans la mesure où, situées dans les zones inondables, elles furent exposées aux crues dévastatrices, aux DRL et aux défluviations imprévus. La vulnérabilité sociétale fut cependant atténuée par des lieux d'installation choisis sur les points hauts de la plaine d'inondation, dès lors que la topographie (*i.e.*, le relief *sensu stricto*) le permettait. Quatre sites apportent les preuves de cette logique d'installation.

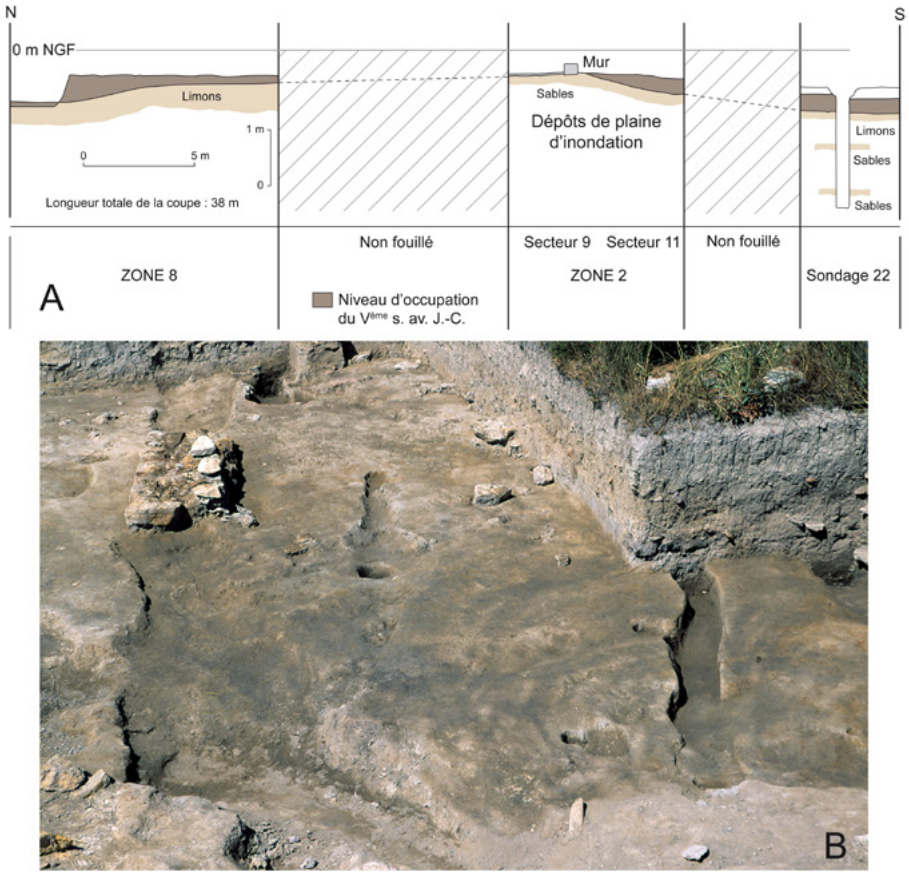


Fig. 7. Caractéristiques de l'occupation du sol sur le site de La Capelière (d'après Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003). A : Coupe synthétique du site de La Capelière, montrant la topographie générale (point haut) sur laquelle s'est implanté l'habitat à l'époque grecque. B : Niveaux d'occupation du Ve s. av. J.-C. (photo : C. Landuré, juillet 2001). Noter les traces en négatif des sablières basses et poteaux porteurs installés dans les limons sableux.

Sur le site de La Capelière, les traces d'un marécage d'eau douce à saumâtre daté des VIIIe-Ve s. av. J.-C. (Lyon-1497/1498) ont été retrouvées entre -1,5 et -1 m. Puis une phase de rapprochement (défluviation ?) du Rhône d'Ulmet entraîne le recouvrement du marécage par des épandages de crue sablo-limoneux. Ces derniers contribuent à donner un fort relief à la plaine d'inondation et forment peu à peu un point dominant entre le chenal principal situé à l'ouest du site et un chenal secondaire situé au nord. C'est au plus haut de cette éminence, à une altitude de -0,5 m NGF, que furent implantés des bâtiments sur sablières basses et poteaux porteurs vers 500-475 av. J.-C., constituant ainsi les premières traces d'habitation sur le site (Fig. 7).

Sur le site de Cabassole, les résultats des travaux géoarchéologiques illustrent des conditions d'implantation comparables (Richier, 2004). L'installation des hommes sur le site date de la période grecque (Ve-IVe s. av. J.-C.). Elle est représentée par un épandage de céramiques d'environ 300 m^2 étendu sur une couche de limons d'inondation dont le toit est situé à la cote -0,4 m NGF. Ici aussi, deux facteurs ont favorisé l'installation humaine : 1) le passage d'un environnement palustre à une plaine d'inondation mieux drainée et 2) l'exhaussement de la surface topographique de la plaine d'inondation consécutif au dépôt de 20 cm de limons.

Sur le site des Combettes, l'installation humaine au VIe s. apr. J.-C. est favorisée par les mêmes conditions paléoenvironnementales. Vers 90-190 apr. J.-C. (Ly-7760), le site est occupé par un marécage situé entre -3,1 et -2,4 m NGF. Puis la mise en place d'une plaine d'inondation associée à une levée de berge exhausse la surface topographique de 2,3 m jusqu'à la cote -0,1 m NGF. Associé à un milieu mieux drainé, cet exhaussement des terrains fournit alors des conditions favorables à l'implantation de l'habitat.

Le site de Mornès est également implanté sur une hauteur (0,6 m NGF), à savoir des limons de crue surmontant l'une des anciennes barres d'embouchure du Rhône de Saint-Ferréol. Comme pour les autres sites, l'habitat est très proche du Rhône, présent ici sous la forme d'un bras secondaire. Cependant, malgré sa position « en altitude », supérieure à celles des autres sites qui lui sont contemporains, le site ne sera occupé que pendant quelques décennies dans le courant du Ier s. av. J.-C., peut-être en raison de l'abandon du chenal secondaire.

En conclusion, la proximité du fleuve, convoitée par les Hommes sans doute essentiellement pour des raisons économiques mais également stratégiques, imposait de construire dans des zones topographiquement élevées, afin de limiter la durée et la hauteur de

l'inondation des sites, et par là même leur vulnérabilité. Les secteurs privilégiés furent les levées de berge (La Capelière, Les Combettes, Le Carrelet), les zones hautes de la plaine d'inondation (Cabassole) et secondairement les barres d'embouchures fossiles surmontées de limons de débordement (Mornès). D'autres mesures furent prises pour se protéger des crues ou, du moins, en atténuer leurs effets destructeurs.

Les autres mesures préventives pour minimiser la vulnérabilité des sites : les enrochements de berge et les fossés de drainage dans la zone inondable

Les plus courantes furent la construction d'enrochements de berge et le creusement de fossés de drainage dans la plaine d'inondation.

- Les enrochements de berge. Sans doute très discontinus à cette époque, ils étaient constitués de blocs de pierre décimétriques non-solidaires les uns des autres, disposés sur la face interne des levées de berge afin d'en limiter l'érosion par affouillement lors des forts débits. Celui découvert au Carrelet (Martin, 2004) est tout à fait caractéristique. Sur ce site, un sondage à la pelle mécanique pratiqué sur la berge de rive gauche (concave) du Rhône de Saint-Ferréol a mis en évidence un enrochement constitué de blocs dont la taille varie de 0,3 à 0,6 m (Fig. 8 A à C). Suivi sur une longueur de 6 m, il présente une largeur de 2,5 m pour une hauteur de 1,5 m et son sommet atteint la cote de -0,6 m NGF. Il scelle la partie sommitale de la berge qui a été datée entre 30 av. J.-C. et 110 apr. J.-C. (Lyon-360). Cet équipement hydraulique, installé vraisemblablement entre les RDC 2a et 2b (cf. *supra*), a eu deux fonctions, celle évidente de protéger la berge concave des phénomènes de sapement et celle plus hypothétique de protéger des zones d'habitat (qui restent à localiser).

- Les fossés de drainage. Creusés à la périphérie des habitats, ils permettaient la plupart du temps d'abaisser les niveaux phréatiques afin de favoriser l'émersion permanente ou temporaire des zones hautes de la plaine d'inondation. Le caractère hydromorphique des terrains dans lesquels ils ont été creusés permet de trancher avec d'hypothétiques canaux d'irrigation. Plusieurs exemples de fossés de drainage ont été mis en évidence sur les sites fouillés.

Sur le site de Cabassole, un fossé (FO 2011) a été dégagé sur une longueur de 5 m. D'une largeur de 3,5 m pour une profondeur de 0,5 m, il présente des parois obliques et un fond plat. Son comblement, datant des VIIIe-Xe s. apr. J.-C., est constitué de limons auxquels se mêlent tuiles, scories et ossements animaux. Ces caractéristiques n'ont cependant pas permis de connaître sa vocation précise. C'est durant la même période qu'un autre fossé (FO 2077) assez similaire au précédent est comblé. Large de 3,5 m et profond de 0,6 m, sa base est constituée de couches de cendres issues de la vidange de fours situés à proximité. Ce niveau est scellé par un remblaiement de 0,5 m d'épaisseur, qui montre une alternance d'unités sableuses (huit au total) et de passées argileuses carbonatées, attestant d'un fonctionnement hydraulique et d'une mise en eau régulière du fossé. Les phases de mise en eau et d'écoulement rapide sont matérialisées par les lamines sableuses, alors que les passées argileuses carbonatées sont associées à des phases de décantation puis d'évaporation. Ce fossé, d'orientation N5, a sans doute permis d'évacuer les eaux du Rhône (au nord) vers l'Etang de Vaccarès (au sud). La granularité du remblaiement sédimentaire est révélatrice de la puissance des eaux de débordement du Rhône, capables de déplacer des sables dans la plaine d'inondation habitée. La puissance du remblaiement et le nombre d'unités sableuses attestent la répétition du phénomène.

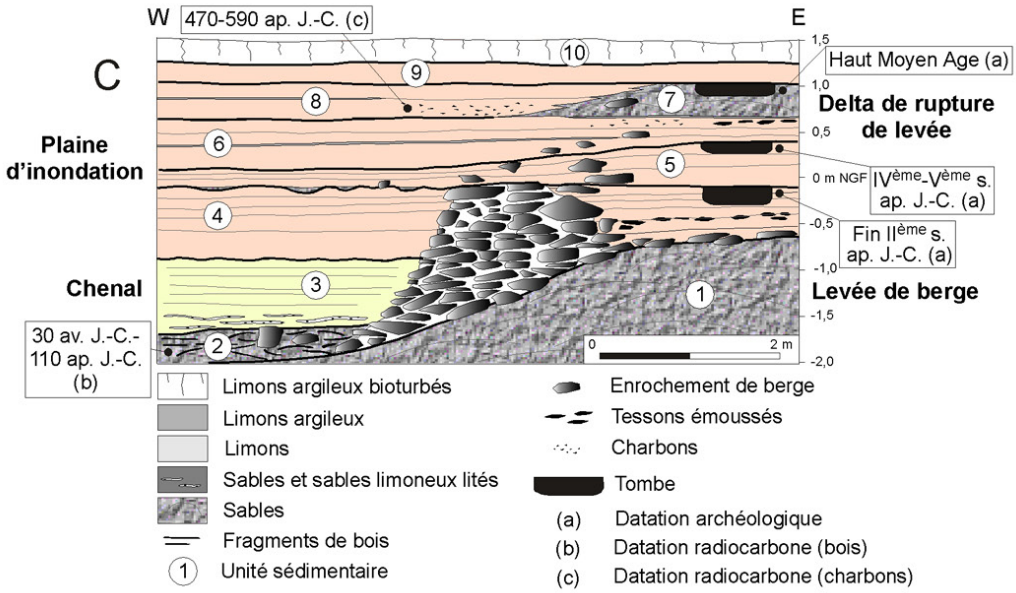
Sur le site de La Capelière, un fossé (FO 7026) délimite l'habitat du Ier s. av. J.-C. (Fig. 8D). D'orientation N45, il a permis de prolonger vers l'ouest (*i.e.*, dans les dépressions marécageuses situées à -1 m NGF) l'évacuation des eaux vers le chenal du Rhône situé à l'est du site. Large de 1,7 m au sommet, profond de 1 m et de forme en U, il est remblayé par des limons homogènes à structure massive, permettant d'envisager un comblement très rapide, sans doute à la suite d'une succession de plusieurs crues.

Évolution du risque fluvial dans le delta du Rhône (600 av. J.-C.-1000 apr. J.-C.)

La plupart du temps, les sites furent occupés quel que soit le rythme des crues du Rhône

De façon générale, la fluctuation des rythmes de crue dans la plaine d'inondation du Rhône n'a pas eu d'impact direct sur la durée d'occupation des habitats.

Ainsi, l'habitat de Cabassole, implanté dans la plaine d'inondation du Rhône de Saint-Ferréol, s'est trouvé exposé, durant toutes les phases d'occupation (VIe-IVe s. av. J.-C., Ier s. av. J.-C.-Ier s. apr. J.-C., IVe-Ve s. apr. J.-C., Ve-VIe s. apr. J.-C., VIIIe-Xe s. apr. J.-C.) à des crues plus ou moins fréquentes. L'irrégularité des débordements est montrée par des taux de sédimentation relativement variables, tantôt forts durant les RDC 2 (2-4 mm/a) et RDC 3 (1,3-2,5 mm/a), tantôt faibles durant les RDCI 1 (0,6-1,2 mm/a), RDCI 2



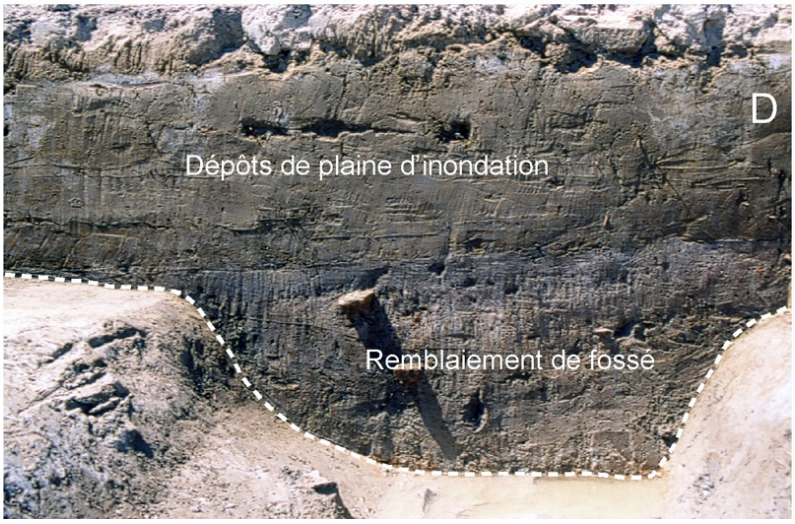


Fig. 8. Les équipements hydrauliques anciens et modernes dans le delta du Rhône (d'après Arnaud-Fassetta 1998, complété). A : Enrochement de berge (30 av. J.-C.-110 apr. J.-C.) découvert au Carrelet (photo : G. Arnaud-Fassetta, août 1995). B : Enrochement de berge actuel du Petit Rhône, montrant des analogies évidentes avec l'enrochement antique du Carrelet (photo : G. Arnaud-Fassetta, novembre 1995). C : Coupe stratigraphique du Carrelet montrant la succession de quatre types d'environnements : une levée de berge supportant un enrochement hydraulique daté de 30 av. J.-C.-110 apr. J.-C., la marge du chenal du Rhône de Saint-Ferréol, dont le remblaiement (sur la coupe) date du IIe s. apr. J.-C., une plaine d'inondation, occupée entre le IIe s. apr. J.-C. et le haut Moyen Âge, et un DRL daté 470-590 apr. J.-C. D : Exemple de fossé de drainage (Ier s. av. J.-C.) découvert sur le site de La Capelière (photo : C. Landuré, juillet 2001).

(0,8-1 mm/a) et RDCI 3 (0,5 mm/a). Au total, aucune corrélation significative ne peut être mise en évidence entre le rythme des crues et l'évolution/durée de l'occupation du sol. L'occupation du site durant les Ve-IVe s. av. J.-C., IVe-Ve s. apr. J.-C. et VIIIe-Xe s. apr. J.-C. peut avoir été favorisée par la rareté des débordements (RDBE 1, RDCI 2, RDCI 3). Les phases d'occupation des Ve-IVe s. av. J.-C. et du Ier s. av. J.-C.-Ier s. apr. J.-C. sont restées diffuses et/ou temporaires, dans des contextes hydrodynamiques pourtant radicalement opposés, de type RDC pour la première et de type RDBE pour la seconde. Enfin, aucun vestige d'habitat en place n'a pu être identifié durant le RDCI 2 (Ier s. av. J.-C.-Ier s. apr. J.-C.), alors que les niveaux d'occupation des Ve-VIe s. apr. J.-C. sont au contraire parfaitement conservés durant le RDC 3.

Par ailleurs, l'habitat des Combettes, installé sur une levée de berge, a dû, de la même façon, faire face aux inondations du Rhône de Saint-Ferréol durant toute la période d'occupation (VIe-Xe s. apr. J.-C.). Pourtant, l'étude du matériel céramique des sols d'occupation intercalés entre -0,1 et 0,6 m NGF dans les dépôts de crue a montré que les inondations n'ont provoqué aucun hiatus dans l'occupation, qui reste *quasi* continue durant plus de quatre siècles. Comme à Cabassole, l'abandon du site se produit alors que l'alluvionnement s'est considérablement ralenti, du fait de la réduction de l'hydraulicité du Rhône de Saint-Ferréol.

En conclusion, le déterminisme du milieu apparaît relativement faible. Lorsque l'aléa ne s'exprime que par les débordements du Rhône, quelle que soit la fréquence de ces débordements, il ne représente pas une contrainte à l'occupation durable de la plaine d'inondation. En revanche, lorsque l'aléa s'exprime par des débordements accompagnés de DRL et de défluviations, il peut entraîner une remise en question de l'occupation et contraindre à l'abandon des sites ou à leur non-occupation pendant plusieurs décennies.

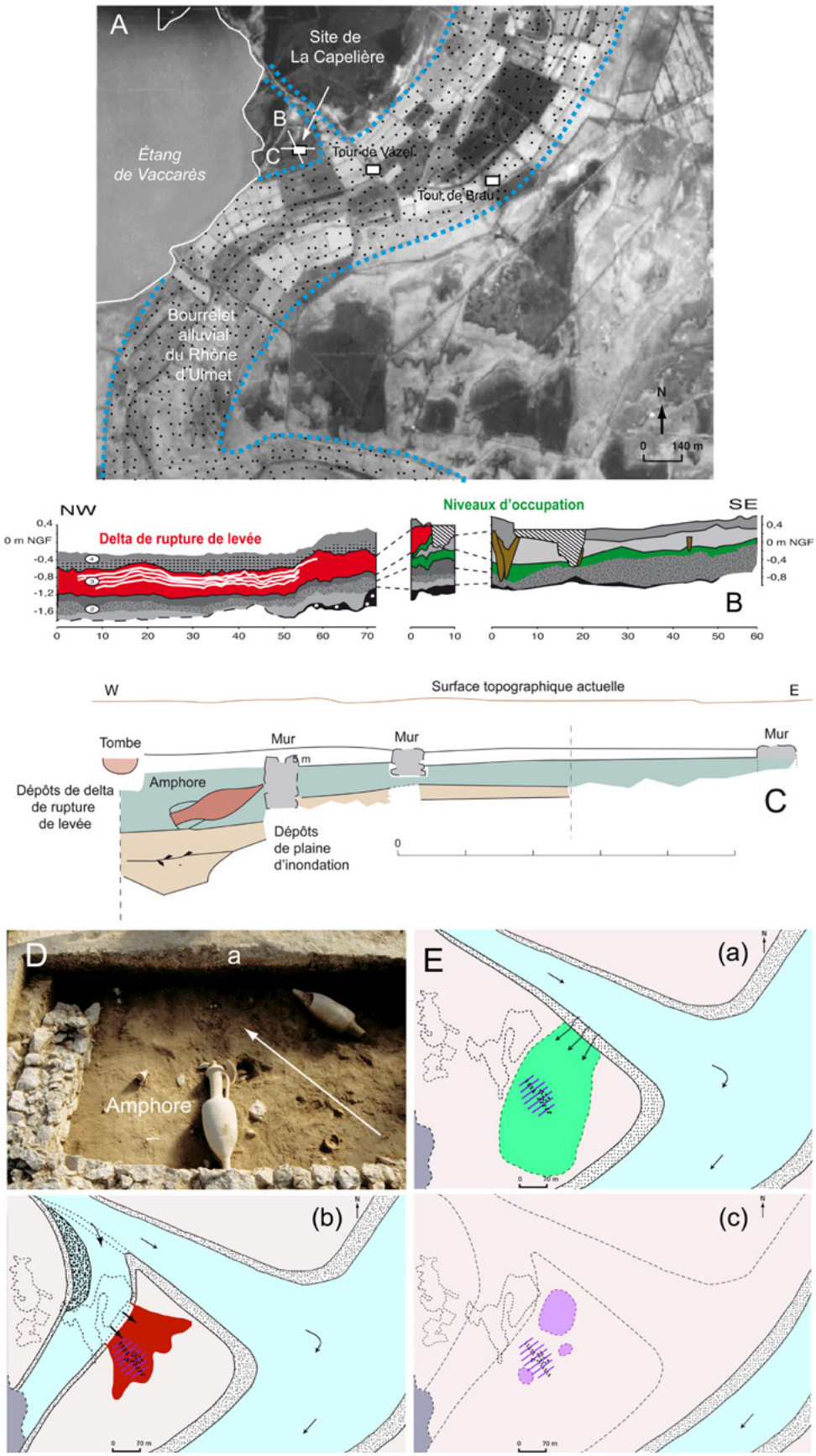
Quelques cas de non-occupation ou d'abandon de site reconnus lors des RDC

Les périodes de RDC ont pu être localement caractérisées par de violentes inondations entraînant la mise en place de DRL et de défluviations et l'abandon définitif ou partiel des habitats. Les sites de La Capelière et du Carrelet livrent deux exemples d'abandon et de non-occupation d'un habitat à la suite d'événements hydromorphologiques de ce type.

Sur le site de La Capelière, l'occupation fut discontinue du Ve s. av. J.-C. au VIIe s. apr. J.-C. Elle se marque par la présence d'un petit habitat rural implanté dès son origine sur des épandages de crue sablo-limoneux (cf. *supra*). Sa situation géographique (*i.e.*, au sud de l'une des concavités du Rhône d'Ulmet et à l'aval immédiat d'une confluence entre le chenal principal et l'un de ses bras secondaires) a rendu le site extrêmement vulnérable aux inondations et aux ruptures de berge (Fig. 9). Ainsi, les niveaux d'occupation du Ier s. av. J.-C. sont totalement recouverts par des limons sableux épais de 0,1 m au sommet de l'habitat et 0,4 m sur ses marges. Ces dépôts d'inondation, qui se raccordent à des sables (DRL) vers le nord du site, ont totalement ennoyé une pièce interprétée comme un entrepôt, dans laquelle deux amphores ont été abandonnées (Fig. 9D). A la suite de ces crues catastrophiques, probablement survenues dans la seconde moitié du Ier s. av. J.-C., l'habitat est abandonné, avant d'être réoccupé à peine quelques décennies plus tard (~ 30 apr. J.-C.).

Sur le site du Carrelet, des limons sableux d'inondation d'une puissance de 0,8 m ont fossilisé un enrochement reposant sur une berge mise en place entre 30 av. J.-C. et 110 apr. J.-C. Aucune trace d'habitat n'a pu être attestée durant cette phase de RDC 2 (cf. *supra*), même si l'existence d'habitations contemporaines de l'enrochement de berge est hautement probable. Seule une tombe a été retrouvée au sommet du dépôt d'inondation, datant de la fin du IIe s. apr. J.-C. (Martin, 2004). En fait, la phase d'occupation principale du site est contemporaine du IVe s. apr. J.-C., c'est-à-dire du

Ci-contre, Fig. 9. Résultats des fouilles géoarchéologiques à La Capelière (d'après Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003). Ceux-ci illustrent comment la convergence de plusieurs facteurs hydromorphodynamiques a pu conduire, au tournant de notre ère, à l'abandon temporaire (plusieurs années) d'une zone habitée à proximité d'un paléochenal actif du Rhône. A : Localisation du site archéologique sur le bourrel*et al*luvial du Rhône d'Ulmet (photo : Armée américaine, 1944). B : Coupe stratigraphique générale, précisant la succession paléoenvironnementale [palustre, fluviatile (plaine d'inondation, delta de rupture de levée)]. C : Détail de la coupe stratigraphique B montrant l'enfouissement des structures archéologiques (fin du Ier s. av. J.-C.) par les dépôts d'un DRL. D : Photographie de deux amphores (fin du Ier s. av. J.-C.) et de murs (fin du Ier s. av. J.-C.) recouverts par (a) des dépôts alluviaux (plaine d'inondation, DRL ; photo : C. Landuré, juillet 1999). La flèche indique la direction des paléoflux de crue. La présence d'une amphore fermée est le signe que le site a été rapidement abandonné, probablement après une grosse crue survenue à la fin du Ier s. av. J.-C. E : Cartes montrant l'évolution hydrographique autour du site archéologique. a : Ve-Ier s. av. J.-C. ; b : fin du Ier s. av. J.-C. ; c : Ve s. apr. J.-C. Noter la présence d'un DRL dont les dépôts limono-sableux recouvrent complètement le site habité à la fin du Ier s. av. J.-C. Cet événement catastrophique entraînera l'abandon de l'habitat jusqu'à 30 apr. J.-C.


A
Site de
La Capelière
B
C
Étang
de Vaccarès
Tour de Vázel
Tour de Brau
Bourrelet
alluvial
du Rhône
d'Ulmet
N
0
140 m
NW
Delta de rupture de levée
Niveaux d'occupation
SE
0,4
0 m NGF
-0,4
-0,8
-1,2
-1,6
0 10 20 30 40 50 60 70
0 10
0 10 20 30 40 50 60
B
W
Surface topographique actuelle
E
Tombe
Mur
Mur
Mur
5 m
Amphore
Dépôts de delta
de rupture
de levée
Dépôts
de plaine
d'inondation
0
C
D
a
Amphore
E
(a)
(b)
(c)
70 m

RDCI 2 (cf. *supra*), au cours duquel les inondations ont été peu nombreuses et les DRL plus rares. L'occupation du IVe s. apr. J.-C. se marque par le développement d'un habitat interprété comme un important *vicus* dont la superficie est estimée à 1-2 ha (Martin, 2004). A partir du Ve s. apr. J.-C., le chenal du Rhône est remblayé par des apports hydrosédimentaires importants [RDC 3 (cf. *supra*)]. Ce contexte devient alors favorable à l'accroissement du rythme des débordements et à la mise en place de DRL. Les constructions du IVe s. apr. J.-C. sont fossilisées sous 1 m de limons sableux (dépôt d'inondation) et de sables limoneux (DRL ; Fig. 9C). Au sortir du RDC 3 (vers les VIIe-VIIIe s. apr. J.-C.), le site a perdu sa vocation d'habitat et les seuls vestiges recensés correspondent à deux tombes en pleine terre qui trahissent une présence humaine sporadique.

Bilan sur le risque fluvial

Les quelques cas que nous avons pu examiner révèlent une situation extrêmement complexe. Les crues du Rhône ont parfois eu un effet néfaste sur la pérennité des habitats ruraux. Ce fut le cas sur le site de La Capelière où la mise en place d'un DRL provoque l'abandon de l'habitat durant plusieurs décennies, de la fin du Ier s. av. J.-C. jusqu'à 30 apr. J.-C. Sur le site du Carrelet, c'est aussi dans un contexte de nombreuses crues fortement débordantes que l'habitat antique finit par être enseveli sous 1 m de limons sableux. Mais l'impact des crues est loin d'être aussi univoque et généralisable à l'ensemble du delta. Ainsi, sur les sites des Combettes et de Cabassole, l'habitat se développe et s'épanouit dans des contextes de RDC. Des crues fréquentes ont bien eu lieu sur ces sites, mais celles-ci ne semblent pas avoir eu de conséquences majeures sur la pérennité de l'habitat.

En fait, la pérennité des habitats ruraux dépend pour beaucoup de la manière dont s'exprime l'aléa dans la zone inondable. Ainsi, le phénomène de submersion de crue dans la plaine alluviale – même lorsqu'il est très fréquent, comme en période de RDC ou, dans une moindre mesure, de RDCI – ne constitue à lui seul qu'un facteur secondaire de remise en cause de l'occupation des sites et des activités économiques qui s'y rattachent. Trois paramètres physiques jouent en fait un rôle majeur dans l'affirmation du risque fluvial pouvant entraîner l'abandon des habitats ruraux :

1) L'aléa hydroclimatique lorsqu'il s'exprime sous la forme du triptyque « débordements-DRL-défluviations » en période de RDC. La fréquence à laquelle se répètent les grosses crues joue alors un rôle décisif dans le remblaiement (parfois très rapide ; quelques décennies à 200 ans) des chenaux fluviatiles et le développement des systèmes de DRL et de défluviation. Dans ce contexte, l'énergie délivrée par l'aléa est telle qu'il engendre un véritable danger pour les vies humaines et une remise en question de la géographie du site (*i.e.*, destructuration des fonctions économiques, sociales, stratégiques et politiques du territoire), considérée comme propice avant l'événement.

2) La paludification de la plaine d'inondation. Elle constitue une contrainte tout aussi forte que la contrainte fluviale *sensu stricto* présentée en 1, dans la mesure où la présence d'une nappe d'eau sub-affleurante perturbe la viabilité des habitats et les possibilités de mise en culture de la plaine d'inondation. Par exemple, les travaux de G. Arnaud-Fassetta *et al.* (2000) ont bien montré que l'arrêt de la céréaliculture sur le site du Pont Noir fut consécutif d'une phase de paludification dans la plaine d'inondation du Rhône d'Ulmet vers le Ier s. av. J.-C. D'autres travaux (voir Arnaud-Fassetta, 2000) ont aussi montré que l'installation humaine sur les sites de Cabassole, de La Capelière et du Pont Noir avait été consécutive à la substitution de milieux mieux drainés (plaine d'inondation) à des d'environnements hydromorphes (marais).

3) L'hydraulicité et la morphologie des chenaux. Les activités économiques pratiquées dans le delta se sont (en partie au moins) appuyées sur le réseau fluvial. La profondeur et la largeur des chenaux, la puissance fluviale moyenne ou bien encore la possibilité d'emprunter des bras secondaires ont donc eu toute leur importance en matière de navigation. Mais leur intégration dans la fonction du risque reste ambiguë, dans la mesure où l'abandon des sites pouvait se faire dans des contextes hydrodynamiques radicalement opposés, consécutivement à une trop faible hydraulicité du chenal (Les Combettes, Cabassole) ou à une trop forte hydraulicité, qui s'accompagne alors d'un développement des DRL (La Capelière) et/ou du remblaiement des chenaux, poussant à l'utilisation ou au creusement de chenaux secondaires (creusement du Canal de Marius par exemple).

Cette recherche aboutit alors à cet apparent paradoxe : c'est au plus fort du risque fluvial que les bras actifs du Rhône (Saint-Ferréol, Ulmet) ont attiré et fixé les sociétés qui ont alors été très vulnérables face aux crues (Fig. 10). L'abandon des habitats et des activités économiques associées est survenu de façon 1) brutale mais temporaire lors de l'apparition de DRL et de défluviations ou 2) graduelle mais durable lors de la remontée des systèmes phréatiques. Au contraire, lorsque le risque fut faible, les bras moribonds ont joué en faveur d'un retrait de l'occupation et de l'abandon des sites, alors que la vigueur de l'aléa et le risque devenaient très atténués.

À ce stade de la réflexion, il nous paraît utile de faire intervenir les notions de seuil/vulnérabilité/résilience des systèmes sociétaux et environnementaux. La notion de seuil est étroitement liée à l'état des contraintes

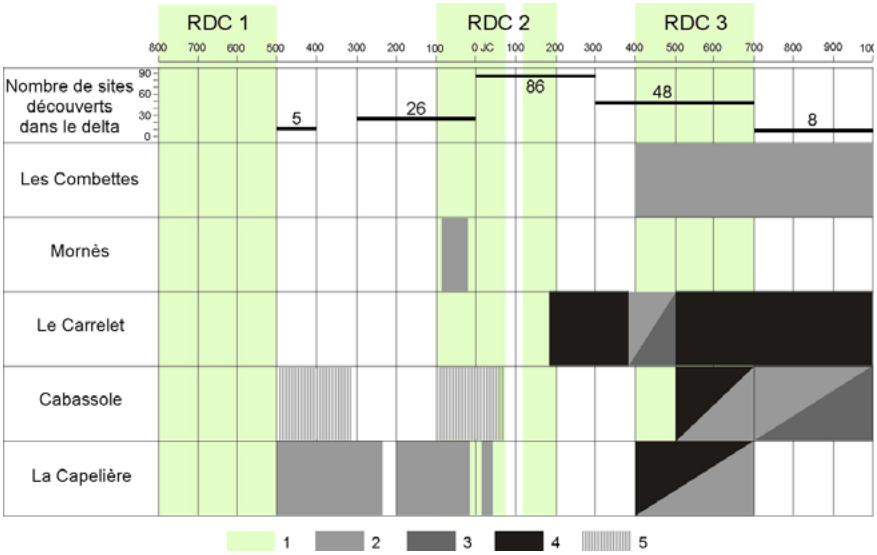


Fig. 10. Corrélations entre le régime hydrologique du Rhône et l'occupation du sol dans la plaine deltaïque entre 800 av. J.-C. et 1000 apr. J.-C. (d'après Arnaud-Fassetta et Landuré, 2003).
1 : « régime dominé par les crues » (RDC) ; 2 : habitat ; 3 : artisanat ; 4 : nécropole ; 5 : fonction indéterminée. Noter l'absence de corrélation entre les fluctuations du régime du Rhône et le nombre de sites.

naturelles (climat, hydrologie) et à la manière dont elles s'expriment (régime hydrologique, processus de rupture de levée et de défluviation, aquifère alluvial). L'effet de ces contraintes peut être absorbé par le système sociétal si sa résilience est suffisamment élevée pour qu'il puisse rapidement revenir à son état initial, suite à la contrainte qu'il a subie. Si les contraintes fluviales excèdent la capacité de résilience de la société, on franchit alors un seuil qui conduit les sociétés vers un nouvel équilibre.

Sur le site de La Capelière, ce n'est qu'à partir du moment où l'aléa dépasse une certaine ampleur et un certain degré d'énergie (*i.e.*, débordements fréquents, DRL, défluviations) qu'il exerce une réelle contrainte sur les biens et très certainement sur les personnes. La dynamique du milieu devient alors insupportable et le risque inacceptable pour les populations locales, entraînant l'abandon puis la mise en place, quelques décennies plus tard, d'un retour des populations. Dans ce cas, le seuil est brutalement franchi et la vulnérabilité des populations est forte. De même, la résilience du système sociétal est faible dans la mesure où il faudra plusieurs décennies avant que le site ne soit de nouveau habité, alors qu'il n'aura fallu par exemple que quelques semaines à quelques mois pour réagir localement aux crues du Rhône de 1993/94 ou de 2003 (Arnaud-Fassetta, 2013).

Autrefois, la résilience du système sociétal a pu être plus forte, permettant ainsi de repousser le seuil qui fait passer le système environnemental d'acceptable à inacceptable. Par exemple, nous avons montré que le bras de Saint-Ferréol perd de son hydraulicité et se colmate dès le VIIIe s. apr. J.-C. Pourtant, ses rives ont été occupées au moins jusqu'au Xe s. apr. J.-C., c'est-à-dire pendant au moins deux siècles durant lesquels les populations ont dû faire face aux problèmes 1) de la discontinuité du linéaire fluvial et de la difficulté de se déplacer par voie fluviale dans cette partie du delta (sans compter l'entretien sous forme de curage que cela supposait), 2) des eaux stagnantes [odeurs, maladies, *etc.* (voir Rossiaud, 1994)] et 3) de la remontée des nappes salées et de l'approvisionnement en eau douce du fait d'une alimentation en eau fluviale insuffisante.

Conclusions

Le Rhône apparaît comme un élément structurant de l'implantation des habitats et du développement des sociétés dans le delta. La vulnérabilité des sociétés est forte – 79 % des sites sont situés dans la zone inondable des paléochenaux fluviatiles – mais elle est atténuée par 1) une installation sur les points hauts de la plaine alluviale, 2) le creusement de fossés de drainage et 3) l'édification d'ouvrages de protection des berges contre l'érosion fluviale.

La durée d'occupation d'un site est fonction de la durée de fonctionnement d'un paléochenal. Les sites occupés durant plusieurs siècles l'ont été en bordure de paléochenaux eux-mêmes pluriséculaires à plurimillénaires. Le site de Mornès, installé en bordure d'un chenal de défluviation qui n'a fonctionné que très temporairement, n'a été en revanche occupé que pendant quelques décennies vers la fin du Ier s. av. J.-C.

La pérennité de l'habitat apparaît moins conditionnée par l'inondation *sensu stricto* que par 1) l'occurrence d'événements vigoureux de type DRL ou défluviation, 2) la remontée des nappes phréatiques et la paludification de la plaine d'inondation et 3) l'hydraulicité et la morphologie des chenaux, dans la mesure où ces deux derniers paramètres conditionnent les possibilités de navigation et d'approvisionnement en eau douce. Une trop faible hydraulicité ou une trop

forte hydraulicité peuvent néanmoins avoir les mêmes effets et provoquer l'abandon des habitats.

Le risque fluvial est fort quand :

- du point de vue de l'aléa hydroclimatique, 1) les crues, dans un contexte de RDC, entraînent le remblaiement des chenaux et la mise en place de DRL et de défluviations et 2) le renforcement des débits moyens entraîne la remontée généralisée des systèmes phréatiques et la paludification de la plaine alluviale.

- du point de vue de la vulnérabilité sociétale, 1) des habitats sont présents près du Rhône ou dans des zones de recoupement des chenaux de crue, 2) les mesures de protection efficaces contre la submersion ou l'érosion fluviale sont insuffisantes et 3) le contexte sociopolitique est (supposé) défavorable.

Le risque fluvial est faible quand :

- du point de vue de l'aléa hydroclimatique, 1) dans un contexte de RDBE ou de RDCI, le chenal incisé a une capacité suffisante pour contenir la plupart des flux de crue, ce qui réduit la probabilité d'occurrence des DRL et des défluviations, 2) le chenal a une trop faible hydraulicité et 3) de bas niveaux moyens du fleuve entraînent l'abaissement du système phréatique, suffisamment pour permettre un bon drainage de la plaine deltaïque, mais pas trop non plus, pour éviter d'être confronté au problème de la salinisation des terres.

- du point de vue de la vulnérabilité sociétale, les habitats sont 1) rares près du Rhône ou 2) présents dans le cas où les mesures de protection contre la submersion ou l'érosion fluviale sont efficaces et 3) lorsque le contexte socio-politique est (supposé) favorable.

Cette étude a permis de préciser le statut du risque fluvial entre l'époque grecque et le haut Moyen Âge. Ce risque a pu être :

- Relatif. Dans certains cas, le risque fluvial a pu être parfaitement géré par les populations installées près du Rhône. Il n'y a en fait pas de déterminisme strict du milieu et l'on exclut une relation de cause à effet systématique entre « développement/abandon des sites » et le régime hydrologique du Rhône. La diversité physique et biologique des milieux fluvio-deltaïques a sans doute laissé un large choix d'installation des habitats et autorisé des ajustements spatiaux/géographiques face à l'aléa de crue. Par ailleurs, hormis dans des contextes de manifestations brutales et violentes de l'aléa (DRL, défluviation), la montée lente des eaux du Rhône donnait sans doute aux Hommes le temps de réagir face à l'arrivée de l'aléa de crue dans le delta.

- Subi. Même lorsque le risque fluvial était bien réel, très peu de mesures de protection ont finalement été prises pour s'en prémunir. Seules des traces sporadiques d'enrochement de berge ont été retrouvées, mais aucune trace d'ouvrages réellement efficaces contre les inondations, comme les endiguements, sans parler de l'absence d'un système cohérent de gestion des crues à l'échelle de tout le linéaire fluvial. Les seules mesures préventives contre l'inondation sont localisées et concernent la mise en place de fossés de drainage qui, moins que des « protections », sont surtout une façon d'accélérer la décrue et d'en limiter les effets néfastes. Les quelques traces d'enrochement de berge attestent quant à elles les moyens mis en œuvre pour atténuer l'érosion des sites, mais ne privent pas le Rhône de déborder : les sites restent donc vulnérables face à la submersion, malgré une volonté certaine d'en atténuer les effets.

- Accepté ? La question peut être posée dans la mesure ou l'intérêt économique (mais aussi politique et militaire ?) apparaît comme la raison essentielle de l'installation des sociétés dans la plaine alluviale du Rhône (cf. *supra*). Les sociétés avaient-elles un recul, une organisation sociale, les moyens technologiques suffisants pour analyser le risque afin de n'avoir aucun autre choix que de l'accepter ? De même, la gestion du risque fluvial en milieu rural a-t-elle vraiment été une priorité (et si oui, à quelle échelle) au cours des deux millénaires étudiés ?

Au cours des prochaines années, la finalisation du programme ACI Jeunes Chercheurs devrait permettre d'approfondir ces questions et d'apprécier leur degré de transposabilité au bas Moyen Âge.

Références

Amouric H., Foy D., « De la salicorne aux soudes factices - mutations techniques et variation de la demande. L'évolution des techniques est-elle autonome ? », *Cahiers d'histoire des techniques*, nº 1, 1991, p. 39-75.

Arnaud-Fassetta G., « Les inondites rhodaniennes d'octobre 1993 et janvier 1994 en milieu fluvio-deltaïque. L'exemple du Petit Rhône », *Quaternaire*, nº 7-2, 1996, p. 139-153.

Arnaud-Fassetta G., *Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône*, Thèse de géographie physique, Université de Provence (Aix-Marseille 1), Villeneuve d'Ascq, Atelier National de Reproduction des Thèses, numéro ANRT 27620, 1998.

Arnaud-Fassetta G., *Quatre mille ans d'histoire hydrologique dans le delta du Rhône. De l'âge du bronze au siècle du nucléaire*, Paris, Grafigéo, nº 11, Collection mémoires et documents de l'UMR PRODIG, 2000.

Arnaud-Fassetta G., « Geomorphological records of a "flood-dominated regime" in the Rhône Delta (France) between the 1st century BC and the AD 2nd century. What correlations with the catchment

paleohydrology? », *Geodinamica Acta*, nº 15, 2002, p. 79-92.

Arnaud-Fassetta G., « The upper Rhône Delta sedimentary record in the "Arles-Piton" core: analysis of delta-plain subenvironments, avulsion frequency, aggradation rate and origin of sediment yield », *Geografiska Annaler A – Physical Geography*, nº 86-4, 2004, p. 367-383.

Arnaud-Fassetta G., *L'hydrogéomorphologie fluviale, des hauts bassins montagnards aux plaines côtières : entre géographie des risques, géarchéologie et geosciences*, Habilitation à diriger des recherches (HDR) en géographie physique, université Paris-Diderot (Paris 7), 3 volumes, 2007.

Arnaud-Fassetta G., « Dyke breaching and crevasse-splay sedimentary sequences of the Rhône Delta, France caused by extreme river-flood of December 2003 », *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 2013.

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 É., *The Mediterranean World Environment and History*, proceedings of the International Conference "Environmental Dynamics and History in Mediterranean Areas" held in Paris, 24-26 April 2002, Paris Elsevier, 2003.

Arnaud-Fassetta G., De Beaulieu J.-L., Suc J.-P., Provansal M., Williamson D., Leveau P., Aloïsi J.-C., Gadel F., Giresse P., Evin J., Duzer D., « Evidence for an early landuse in the Rhône Delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial paleoenvironments (1640-100 BC) », *Geodinamica Acta*, nº 13, 2000, p. 377-389.

Benoit F., « L'économie du littoral de la Narbonnaise à l'époque antique : le commerce du sel et les pêcheries », *Revue d'études ligures*, nº 25, 1959, p. 87-110.

Berger J.-F., *Le cadre paléogéographique des occupations du bassin valdainais (Drôme) à l'Holocène*, thèse de géographie physique, université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), 1996.

Bravard J.-P., Vérot-Bourrely A., Salvador P.-G., « Le climat d'après les informations fournies par les enregistrements sédimentaires fluviatiles étudiés sur des sites archéologiques », *Les nouvelles de l'Archéologie*, nº 50, 1992, p. 7-14.

Bravard J.-P., Vérot-Bourrely A., Franc O., Arlaud C., « Paléodynamique du site fluvial de Lyon depuis le Tardiglaciaire », *in* Bravard J.-P., Prestreau M., *Dynamique du paysage-Entretiens de géoarchéologie*, Lyon, Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes, 1997.

Bruneton H., *Évolution holocène d'un hydrosystème nord-méditerranéen et de son environnement géomorphologique. La plaine d'Arles à l'interface entre le massif des Alpilles et le Rhône*, thèse de géographie physique, université de Provence (Aix-Marseille 1), 1999.

Bruneton H., Arnaud-Fassetta G., Provansal M., Sistach D., « Geomorphological evidences for fluvial change during the Roman period in the lower Rhône valley (southern France) », *Catena*, nº 45, 2001, p. 287-312.

Crichton B., Siboni M., *La reconstitution paléoydrologique dans les deltas : l'exemple du Rhône d'Ulmet sur les sites du Pont Noir, de La Capelière et de La Tour du Valat (Camargue). Relations avec la dynamique de l'occupation du sol*, Mémoire de Maîtrise de géographie physique, université Paris-Diderot (Paris 7), 2001.

Excoffon P., Landuré C., Pasqualini M., « Habitat et risque fluvial dans le delta du Rhône au Ier s. av. J.-C. », *in* Burnouf J., Leveau P., *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture. Sociétés préindistrielles et milieux fluviaux, lacustres et palustres : pratiques sociales et hydrosystèmes*, Paris, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 2004.

Forest V., « Étude archéozoologique », *in* Corinne Landuré, Michel Pasqulini, Armelle Guilcher, *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Fossier R., *Hommes et villages d'Occident au Moyen Âge*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1992.

Gantès L.F., « Aperçu sur la céramique grecque d'époque archaïque et classique recueillie en Camargue », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Gayraud M., *La borne romaine du Mas de Carrelet en Camargue. Les inscriptions latines de Gaule Narbonnaise*, Actes de la Table ronde de Nîmes, 25-26 mai 1987, Ecole Antique de Nîmes, Bull. Ann., nº 20, 1989.

Hirbec F., « Évolution d'un vaisselier de la fin de l'époque républicaine à l'époque augustéenne à la Capelière », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Jorda M., Provansal M., « Impact de l'anthropisation et du climat sur le détritisme en France du sud-est (Alpes du Sud et Provence) », *Bulletin de la Société Géologique de France*, nº 167, 1996, p. 159-168.

Kotarba J., « Fouilles entreprises à l'occasion de la construction de l'autoroute Arles-Nîmes », *Archéologia*, nº 238, 1988, p. 46-51.

Landuré C., « La Capelière, un habitat fluvial en Camargue », *in* Chausserie-Lapree J., *Le temps des Gaulois en Provence*, Marseille Images en Manœuvre Editions, 2000.

Landuré C., Arnaud-Fassetta G., « Île de Mornès (Les Saintes-Maries-de-la-Mer, Bouches-du-Rhône). Sondages géo-archéologiques », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Landuré C., Arnaud-Fassetta G., « Sondages géo-archéologiques aux Combettes (Les Saintes-Maries-de-la-Mer, Bouches-du-Rhône) », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Landuré C., Pasqualini M., Guilcher A. (éd.), *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Leveau P. (éd.), *Le Rhône romain, dynamiques fluviales, dynamiques territoriales*, Gallia, nº 56, 1999.

Magny M., « Holocene lake-level fluctuations in Jura and the north subalpine range, France: regional pattern and climatic implications », *Boreas*, nº 21, 1992a, p. 319-334.

Magny M. , « Sédimentation et dynamique de comblement dans les lacs du Jura au cours des 15 derniers millénaires », *Revue d'Archéométrie*, nº 16, 1992b, p. 27-49.

Martin L., « Le Carrelet (Les Saintes-Maries-de-la-Mer, Bouches-du-Rhône) », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Pasqualini M., *Tour du Valat, Arles. Un petit ensemble artisanal du Ier siècle avant notre ère au lieu-dit*, Le Grand Parc, Aix-en-Provence, Rapport SRA DRAC PACA, 1999.

Patzelt G., *Die klimatischen verhältnisse im südlichen mitteleuropa zur römerzeit*, Acte du Colloque Ländliche Besiedlung und Landwirtschaft in den Rhein-Donau-Provinzen des Römischen Reiches, 1994.

Peiry J.-L., *Recherches en géomorphologie fluviale dans les hydrosystèmes fluviaux des Alpes du Nord*, Diplôme d'habilitation à diriger des recherches, université Joseph-Fourier (Grenoble 1), 1997.

Provansal M., « The role of climate in landscape morphogenesis since the Bronze Age in Provence, Southeastern France », *The Holocene*, nº 5, 1995, p. 348-353.

Provansal M., Berger J.-F., Bravard J.-P., Salvador P.-G., Arnaud-Fassetta G., Bruneton H., Vérot-Bourelly A., *Le régime du Rhône dans l'Antiquité et au Haut Moyen Âge*, Gallia, nº 56, 1999, p. 13-32.

Richier A., « Le site de Cabassole (Arles, Bouches-du-Rhône) », *in* Landuré C., Pasqulini M., Guilcher A., *Delta du Rhône. Camargue antique, médiévale et moderne*, Bulletin Archéologique de Provence, Supplément 2, Editions de l'Association Provence Archéologie, 2004.

Rossiaud J., *Réalités et imaginaire d'un fleuve. Recherches sur le Rhône médiéval*, Thèse d'Etat en histoire, université Panthéon-Sorbonne (Paris 1), volume 3, 1994.

Schneider L., Paya D., « Le site de Saint-Sébastien de Maroiol (34) et l'histoire de la proche campagne du monastère d'Aniane (Ve-XIIIe siècles) », *Archéologie Médiévale*, nº 25, 1995, p. 133-181.

Smith N.D., Cross T.A., Dufficy J.P., Clough S.R., « Anatomy of an avulsion », *Sedimentology*, nº 36, 1989, p. 1-23.

Stouff L., *Arles à la fin du Moyen Âge*, ANRT, université de Lille 3, Publication de l'université de Provence, 1986.

Stouthamer E., Berendsen H.J.A., « Factors controlling the Holocene avulsion history of the Rhine-Meuse Delta (The Netherlands) », *Journal of Sedimentary Research*, nº 70-5, 2000, 1051-1064.

Stuiver M., Braziunas T., « Sun, ocean, climate and atmospheric $^{14}CO_2$; evaluation of causal and spectral relationships », *The Holocene*, nº 3, 1993, p. 289-305.

Trément F., *Habitat et peuplement en Provence à la fin de l'Antiquité. Les campagnes de la Gaule à la fin de l'Antiquité*, Antibes, Colloque de Montpellier, APDCA, 2001.

Van Geel B., Bourman J., Waterbolk H.T., « Archaeological and palaeological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2650 BP », *Journal of Quaternary Science*, nº 11, 1996, p. 451-460.

Zoller H., « Les oscillations du climat et des glaciers pendant le Tardi- et le Postglaciaire dans les Alpes de la Suisse », *in* Laville H., Renault-Miskovsky J., *Approche écologique de l'Homme fossile*, suppl. Bulletin de l'AFEQ, 1977.

Gilles Arnaud-Fassetta
Université Paris-Diderot (Paris 7), Laboratoire PRODIG – UMR 8586 CNRS/universités Paris 1, Paris 4 et Paris 7/EPHE/IRD/AgroParisTech, Paris, France
(gilles.arnaud-fassetta@univ-paris-diderot.fr).

Corinne Landuré
Service Régional de l'Archéologie, DRAC PACA, CCJ – UMR 7299 CNRS/Aix-Marseille Université/Ministère de la Culture et de la Communication, Aix-en-Provence, France
(corinne.landure@culture.gouv.fr).