

Paléohydrologie holocène dans la basse vallée du Rhône, d'Orange à la mer

Mireille Provansal¹, Hélène Bruneton¹, Claude Vella¹, Gilles Arnaud-Fassetta², Jean-Louis Ballais³ et Philippe Leveau⁴

¹UMR 6635 CNRS CEREGE, provansal@cerege.fr ; bruneton @ , vella@cerege.fr

²UMR 8586 CNRS-PRODIG, fassetta@paris7.jussieu.fr

³UMR Espace

⁴UMR

Provansal, M., Bruneton, H., Vella, C., Arnaud-Fassetta, G., Ballais, J.-L., Leveau, P., 2002. Paléo-hydrologie holocène dans la basse vallée du Rhône, d'Orange à la mer *In* : J.-P. Bravard et M. Magny Dir., *Histoire des rivières et des lacs de Lascaux à nos jours*. Errance, Paris, pp 251-258.

Résumé

Dans la basse vallée du Rhône, quatre épisodes d'hydrologie remarquable sont décrits au cours du Petit Age Glaciaire, de la période romaine, du Subatlantique et du Subboréal. Ils sont caractérisés par des crues fréquentes, élevées et compétentes et par un niveau élevé des nappes phréatiques. Le Petit Age Glaciaire correspond à l'hydrologie la plus haute et la plus compétente. L'interprétation paléohydrologique doit tenir compte des effets induits par l'abondance de la charge solide, qui modifie les capacités d'écoulement du chenal, et par les modifications autocyclus de la plaine deltaïque.

Abstract

In the lower Rhône valley, four hydrological phases are described : the Little Ice Age, the Roman period, the Subatlantic and Subboreal periods. They are characterized by frequent, high and competent floods and by high water table levels. The LIA is the most abundant and the most competent period. Paleohydrologic interpretation must take into account the effects of the increased solid discharges that modify channel capacity, and the autocyclic variations in the delta plain.

1. Introduction, le cadre géographique

La paléo-hydrologie du bas-Rhône a été abordée indirectement dans le delta et le Golfe du Lion à partir de l'étude des corps sédimentaires holocènes, analysés par carottages ou sismique-réflexion (Duboul-Razavet, 1956 ; Oomkens, 1970 ; Pons *et al.*, 1979 ; L'Homer *et al.*, 1981). L'interprétation, reposant sur les variations des taux de sédimentation et les changements de position des embouchures, était perturbée par une résolution chronologique faible et par l'interférence avec les causalités littorales (montée du niveau marin, envasement des embouchures). En outre on ne disposait que d'aucune ou de peu d'informations sur les deux derniers millénaires. Depuis 10 ans, les études paléo-environnementales, dans le delta (Arnaud-Fassetta, 1998 ; Vella, 1999), la plaine d'Arles et les sites archéologiques d'Arles et d'Avignon (Bruneton, 1999), ainsi que la construction d'un référentiel hydro-sédimentaire actuel (Roditis et Pont, 1993 ; Arnaud-Fassetta, 1996 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, sous presse ; Antonelli *et al.*, s.p.) permettent une approche spatiale et chronologique précise.

La plaine du bas Rhône, encore caractérisée par quelques pointements rocheux (défilé de Beaucaire-

Tarascon, " points durs " d'Avignon et Arles), s'évase en amont d'Arles, où le fleuve se divise en 2 branches, dont la pente est très faible (0,1%). Le module élevé du fleuve (1850 m³/s) et son régime sont dus aux apports complémentaires de son bassin-versant, océaniques, alpins et méditerranéens. A l'aval d'Avignon, le fleuve reçoit des affluents méditerranéens à fort débit solide, l'Ardèche, le Gardon et, surtout, la Durance. La plaine deltaïque correspond au sommet d'un prisme sédimentaire de haut niveau, progradant depuis 8000 BP pour la partie centrale du delta, la mieux alimentée (Oomkens, 1970 ; Pons *et al.*, 1979), à partir de 6500 BP pour la partie occidentale (Bazille, 1975) et 3000 BP pour l'extrémité orientale (Arnaud-Fassetta, 1998 ; Vella, 1999).

2. Méthodologie

Les stratigraphies alluviales ont été étudiées en tranchées ou par carottages sur des sites archéologiques ou hors site. Les interprétations paléo-hydrologiques reposent sur l'analyse des dépôts de crues et des modifications du système fluvial. Ces deux indicateurs peuvent être corrélés, la géométrie du chenal modifiant

la fréquence des débordements et la position du système phréatique alluvial. Leurs indications sont confrontées aux données archéologiques.

2.1. Marqueurs géomorphologiques et sédimentologiques

- Les variations de la géomorphologie du chenal (rapport largeur/profondeur, divagations, avulsions, style tressé ou à méandres), des berges (mobilité, apparition de brèches) et des embouchures (progradation ou recul du trait de côte, envasement) sont analysées en stratigraphie et par photo-interprétation. Elles sont interprétées comme un ajustement aux variations des débits liquides et solides.

- La sédimentologie des dépôts alluviaux détermine la granularité, significative de la magnitude de la crue, l'image C/M (médiane/percentile supérieur) permettant de relier le dépôt à un mode de transport et d'évaluer sa proximité par rapport au chenal. La fréquence des crues est appréciée en fonction de l'importance de la pédogenèse (bioturbation, nombre des biosphéroïdes) et de la durée d'occupation des sites archéologiques.

Les variations du taux de sédimentation reflètent à la fois le volume de la charge solide, liée au taux d'ablation dans le bassin-versant, et l'abondance hydrologique, dépendante de la variable climatique (précipitations, évaporation).

- Les variations altimétriques du système phréatique alluvial, révélatrices du niveau de l'eau dans le chenal, sont caractérisées par l'analyse pédo-sédimentaire et ostracofaunique.

Plusieurs critères, permettant de différencier les apports du Rhône d'apports hydrologiques latéraux, révèlent l'extension spatiale des crues. Celle-ci doit cependant être discutée en fonction de la topographie de la plaine.

2.2. Marqueurs archéologiques et historiques

- La présence et l'altimétrie de protections des berges sont un indice d'un accroissement du risque fluvial, dont l'interprétation reste cependant difficile. Quelques structures permettent de mettre en évidence une montée du système phréatique (moulin médiéval de la Calade) ou du niveau de l'eau dans le chenal (égoûts d'Arles) ou un accroissement des apports sédimentaires (envasement du port de Fos).

Les sources écrites antiques fournissent des données exploitables en terme de mobilité des paysages. A la fin du III^e s. avant J.-C., entre l'Ardèche et la sortie de la plaine d'Orange, Hannibal franchit un Rhône caractérisé par la juxtaposition de sections à lit tressé et à lit unique méandrant (Leveau, s.p.). Le nombre des embouchures passe de cinq à deux au II^e s. av. J.-C., puis à trois dans les années 125 av. J.-C., chiffre qui reste valable jusqu'à la fin de l'Antiquité (Vella *et al.*, 1998). Entre

102 et 104 av. J.-C., la construction par Marius d'un canal facilitant l'entrée dans le fleuve par l'est pourrait témoigner d'une obstruction partielle du fleuve par les sédiments, mais durant le premier siècle ap. J.-C., le canal n'est sans doute plus utilisé car l'embouchure du fleuve est redevenue accessible à la navigation. Le développement des centuriations sur le territoire d'Arles est à mettre en relation avec une colonisation agraire dans une plaine peu inondée.

- A partir du XVI^e siècle, on dispose d'archives sur la fréquence et la hauteur des crues à Arles (Pichard, 1995) et la vitesse de progradation des embouchures (Caritey, 1995).

2.3. Les biais de l'interprétation paléo-hydrologique

L'interprétation des stratigraphies en termes hydrologiques impliquerait de passer d'un dépôt à une cote hydraulique et à un débit supposés lui correspondre. L'établissement de référentiels actuels n'est pas satisfaisant car trois facteurs perturbent l'équivalence sédiments/hydrologie : (1) la géométrie du chenal, généralement inconnue, surtout aux périodes les plus anciennes, (2) l'évolution tendancielle des chenaux et de la plaine, caractérisés par une accréation verticale continue au cours de l'Holocène, qui induit, à hydrologie égale, une hauteur et une expansion spatiale croissantes des crues, (3) à l'aval, la modification du profil en long liée à la montée holocène du niveau marin favorise l'avulsion indépendamment du contexte hydro-sédimentaire ;

Enfin, sur les sites archéologiques, l'utilisation des stratigraphies doit tenir compte : (1) des modifications du flux hydrologique par le bâti (exagérations locales), (2) des perturbations liées au nettoyage par les occupants, (3) de l'ambiguïté des interprétations : l'abandon d'un site est-il dû à l'augmentation de l'aléa ou à une décadence socio-politique ? Si l'abandon des entrepôts de Fos relève de causes naturelles, celles-ci sont difficiles à démontrer sur les sites fluviaux.

En tenant compte de ces attendus critiques, il est néanmoins possible d'interpréter les stratigraphies alluviales en termes d'hydrologie, plus ou moins abondante et/ou irrégulière, en multipliant pour une même période les observations hors site et in situ et en analysant les mutations diachroniques sur chaque site. On présente ici quelques périodes par ordre décroissant de leur richesse d'information et de leur fiabilité d'interprétation.

3. Résultats

3.1. Au sein du Petit Age Glaciaire (fig. 1),

l'interprétation repose sur la confrontation des données sédimentologiques avec les premiers relevés systématiques de crues à Arles et la cartographie diachronique de l'embouchure.

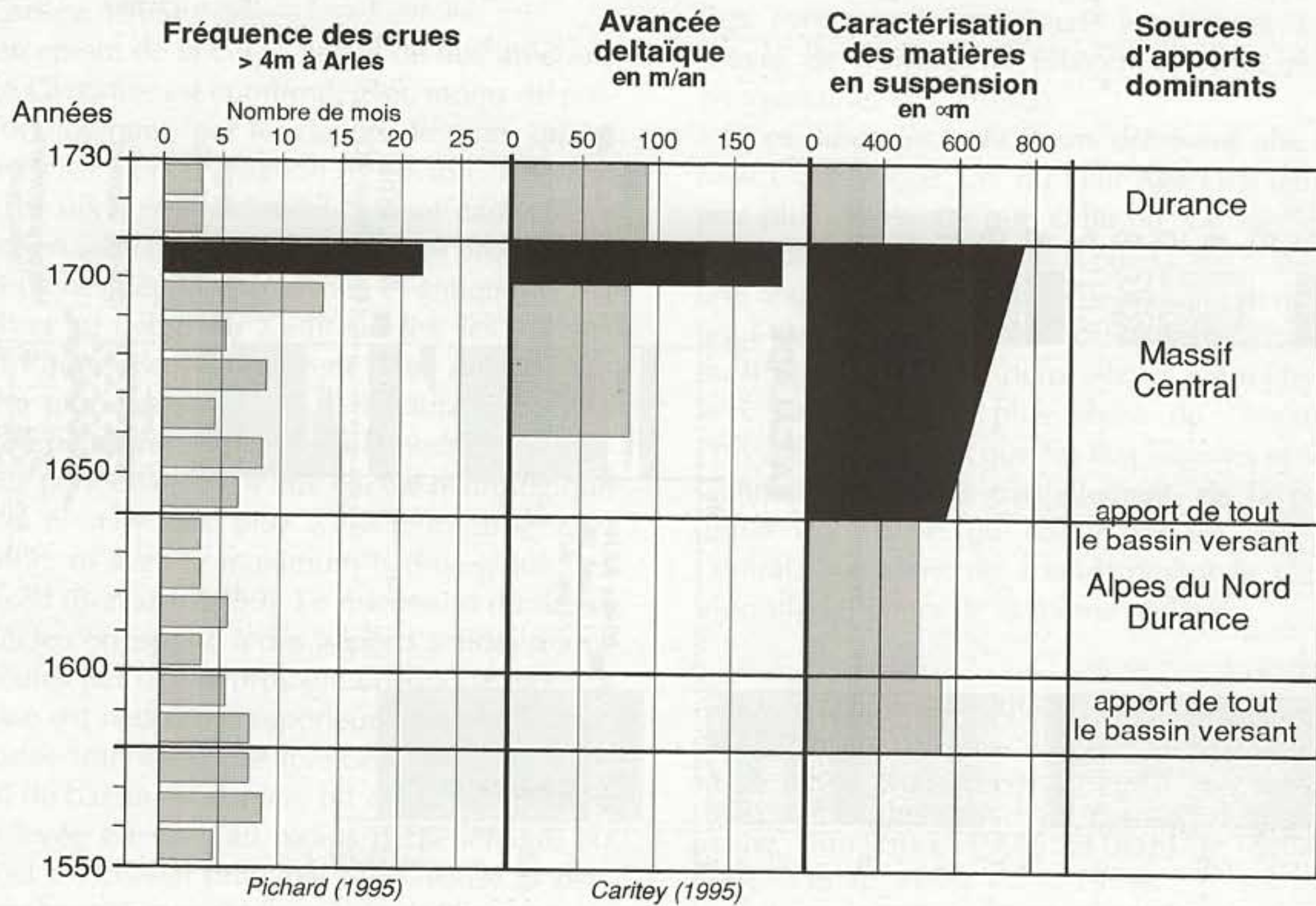
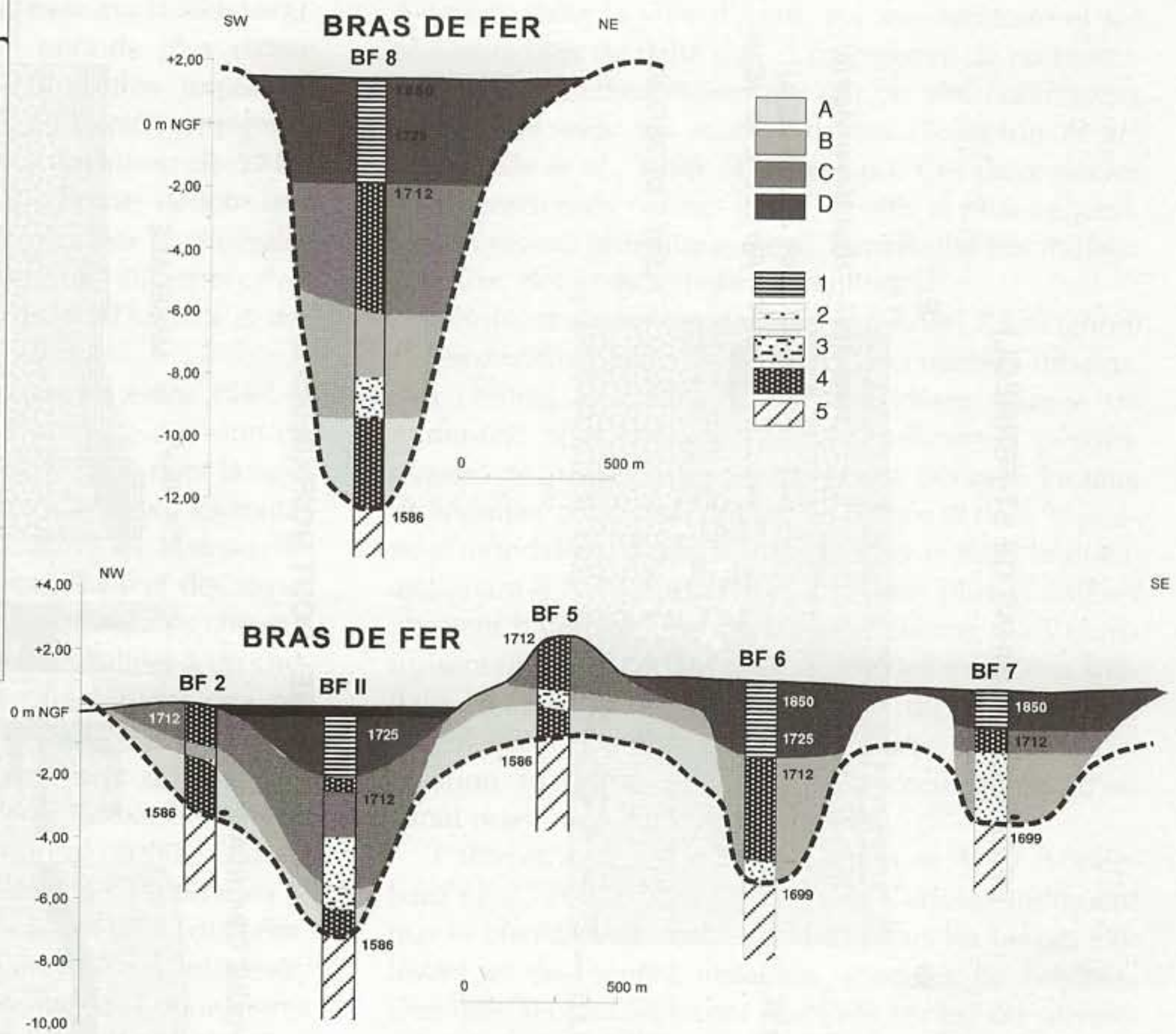
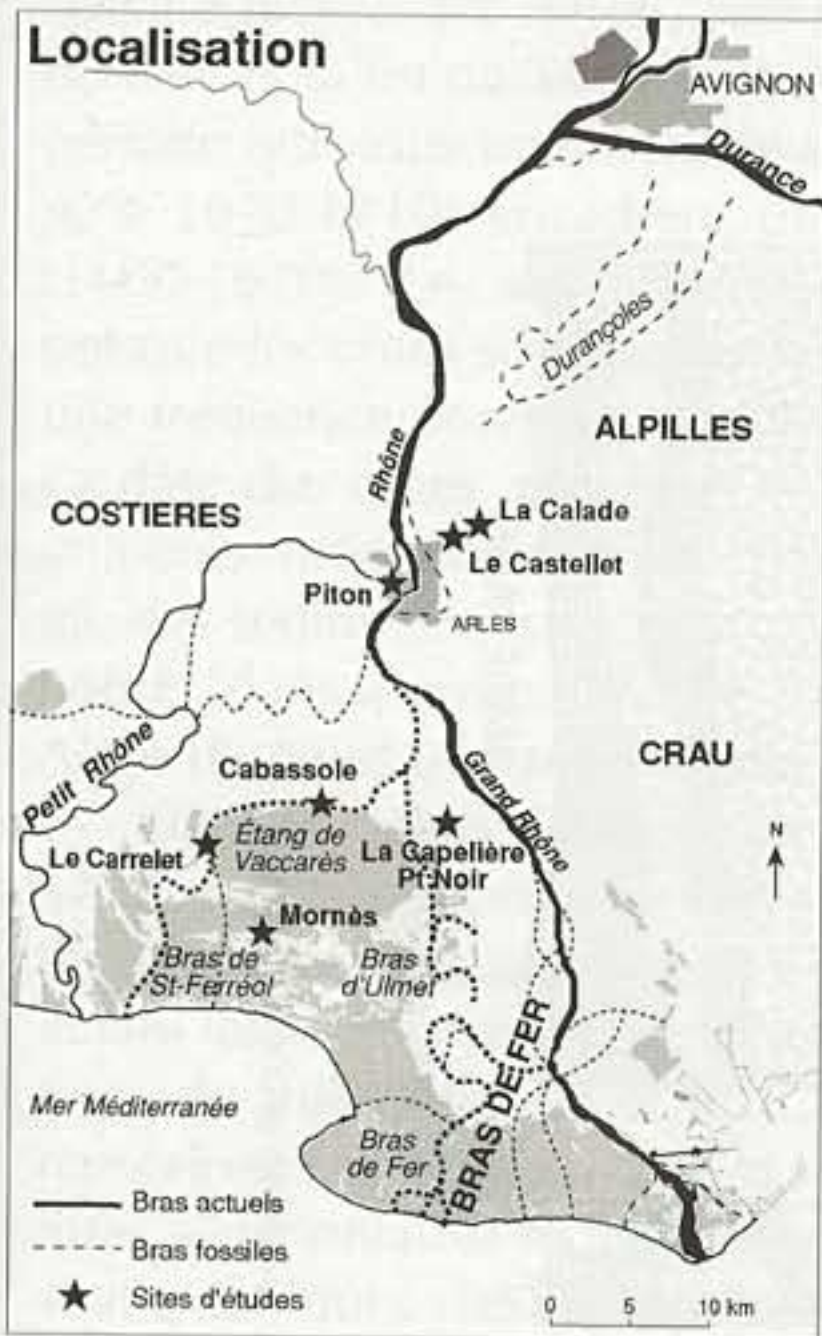


Figure 1 : Paléohydrologie du bas Rhône au cours du petit Age Glaciaire.

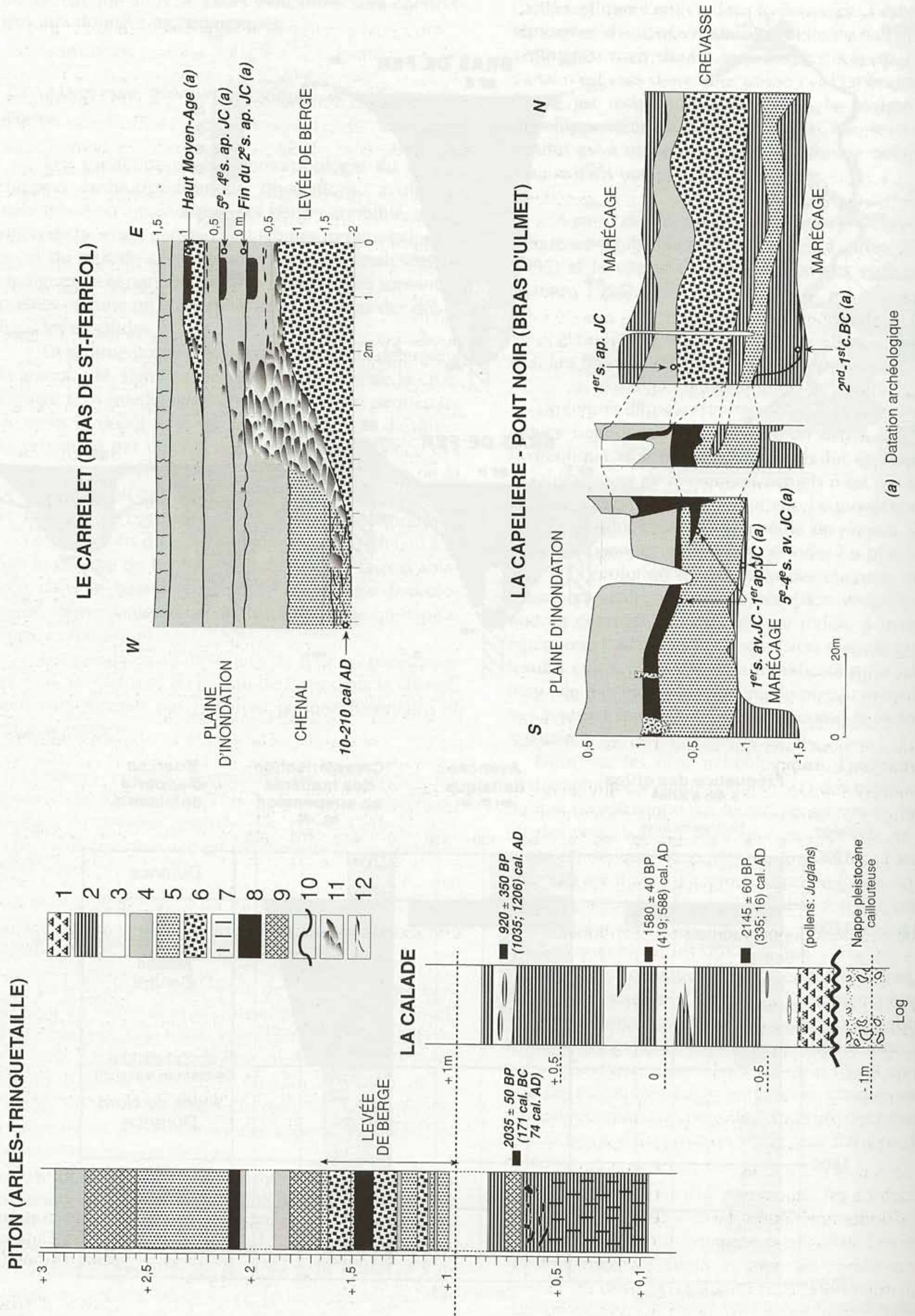


Figure 2 : Paléohydrologie du bas Rhône au cours des I^{er} av.-I^{er} ap. s. J.-C.

1. colluvions ; 2. tourbes et limons organiques ; 3. limons fins (décantation distale) ; 4. limons (dépôts proximaux) ; 5. limons sableux ; 6. sables ; 7. bioturbation, alluvio-sol ; 8. niveau archéologique (sols, constructions, tombes) ; 9. niveau de destruction ; 10. artefacts ; 11. enrochements de berges ; 12. débris ligneux.

(a) Datation archéologique

Le Petit Age Glaciaire est caractérisé par une fréquence élevée des fortes crues à Arles entre le milieu du XVI^e et la fin du XIX^e siècle (Pichard, 1995). Pour la période qui nous intéresse, deux maxima (1560-1600, puis 1670-1710) encadrent une période plus calme (1600-1670). Le second maximum, très important puisque les crues supérieures à 5,25 m NGF atteignent une fréquence annuelle, aboutit à l'avulsion de 1712. La date des crues, en été et en automne, dénote une influence méditerranéenne, confirmée par la minéralogie des sédiments, issus pour partie des affluents cévenols et, dans une moindre mesure, de la Durance et des Alpes du Nord (Arnaud-Fassetta, 1998).

Dans le " Bras de Fer ", fonctionnel entre 1587 et 1712, puis abandonné lors de la dernière avulsion du fleuve, sept carottages de 4 à 12 m de haut, dont la base atteint les séries marines holocènes, décrivent les mutations du milieu fluvial et les dynamiques hydro-sédimentaires. Les variations de la granularité et des structures sédimentaires individualisent trois unités chronostratigraphiques : les deux premières, limitées à un chenal profond de 11 à 6 m, sont caractérisées par des dépôts sableux moyens, puis fins. La troisième traduit un élargissement de la bande active, avec un lit à chenaux multiples soumis à l'accrétion de bancs sableux grossiers (Arnaud-Fassetta et Provansal, 2000). Elle est fossilisée par les dépôts de colmatage postérieurs à 1712. En 125 ans environ se succèdent donc des sédiments significatifs d'une énergie élevée, puis modeste, enfin d'écoulements très compétents, sans équivalents dans l'histoire sédimentaire du delta. La multiplication des bras et des atterrissements est associée à la progradation de l'embouchure, qui atteint 180 m/an à partir de 1700 (Caritey, 1995).

Le renforcement de la compétence du flux au cours du Petit Age Glaciaire est confirmé, avec moins de précisions chronologiques, par les dépôts de crues qui se déposent hors les murs d'Avignon (Bruneton, 1999). A partir du XIV^e siècle, les sédiments y sont caractérisés par une fraction sableuse et un grain moyen plus importants que ceux des dépôts médiévaux et antiques.

Au XVII^e et au début du XVIII^e siècles, les milieux fluviaux du Rhône aval enregistrent donc des fluctuations d'ordre pluri-décennal, deux maxima encadrant une phase de pause relative. On soulignera l'hétérogénéité de cette période et le fait que l'acmé hydrologique ne coïncide ni avec les plus forts refroidissements (Magny, 1995), ni avec le maximum hydrologique des Alpes du Nord (Bravard, 1989). Le maximum du début du XVIII^e siècle correspond à des apports solides abondants, véhiculés par une hydrologie énergique, dont la force tractrice est nettement supérieure à celle de toutes les périodes antérieures. Le rôle des crues, issues de la partie sud du bassin rhodanien, est évident. Mais leur fréquence élevée est due, au moins partiellement, au remblaiement du chenal principal qui favorise la persistance d'un haut niveau du fleuve. La métamorphose fluviale, associée à une abondante charge sableuse en suspension, est plus rapide (quelques décennies) et plus précoce que sur les affluents alpins (Salvador, 2001).

3.2. La période romaine (I^{er} siècle av. et I^{er} siècle ap. J.-C.)

Plusieurs carottages, les fouilles archéologiques à Avignon, dans la ville d'Arles, sur son territoire et sur plusieurs sites du delta (fig. 2) fournissent de nombreuses archives sédimentaires qui ont pu être confrontées localement avec les sources écrites (Bruneton *et al.*, s.p. ; Vella *et al.*, 1998 ; Leveau s.p.). Ces deux siècles sont caractérisés par des crues élevées et plus fréquentes, un niveau phréatique élevé, l'instabilité des milieux fluviaux, des embouchures et du littoral.

Plusieurs séquences de crues (4 à Arles, 7 à Avignon) s'interstratifient entre les niveaux d'occupation urbains. Ces chiffres, qui doivent être considérés comme un minimum, sont confortés par les indicateurs pédologiques, peu développés pendant cette période. Le taux de sédimentation s'accroît sur les berges et dans la plaine d'inondation, à Arles (Trinquetaille) et dans le delta, atteignant 4 à 10 mm/an. Les alluvions plus grossières attestent d'une énergie de transport élevée. Elles construisent un épais cordon littoral, dont les variations spatiales modifient rapidement le site du port de Fos, accroissent le nombre des embouchures, gênent la circulation maritime et justifient la construction d'un canal maritime reliant Arles à la mer.

L'altimétrie des égoûts à Avignon et Arles (Lopez-Saez *et al.*, 2000), et le carottage du Carrelet, indiquent que le chenal reste assez profond. Mais les berges s'élèvent et deviennent instables, affectées de brèches. Des bras secondaires sont réactivés (Arles) ou ouverts (Mornès dans le delta). Enfin, dans la plaine d'Arles et le delta (La Capelière, Cabassole), le niveau phréatique s'élève, les marais s'élargissent et s'approfondissent. Ces événements entraînent localement la mise en œuvre de moyens de protection (Arles rive gauche, Trinquetaille, Le Carrelet).

Ces différents indicateurs décrivent une hydrologie moins active que lors du Petit Age Glaciaire, mais un peu plus énergique que celle du XX^e siècle, avec des crues plus nombreuses, plus puissantes et plus hautes et une abondance susceptible de soutenir le niveau phréatique dans la plaine. Ces indices disparaissent au début du II^e s. ap. J.-C. Ces deux siècles coïncident pourtant avec une inflexion plus sèche du climat en basse Provence, suggérant que les flux liquides et solides proviennent, au moins partiellement, de la partie océanique ou alpine du bassin-versant, ou du massif Central, qui alimente abondamment le Gardon et le Vidourle au cours de la même période.

3.3. Entre l'Atlantique récent et le début du Subatlantique.

Deux épisodes hydrologiques abondants sont connus pour cette période par les carottages à Arles et dans sa plaine (Bruneton, 1999) et dans le delta (Arnaud-Fassetta *et al.*, 2000, Vella, 1999).

- Entre 4700 et 2500 av. J.-C., le chenal d'Arles enregistre un apport de sables grossiers avec quelques galets, avec un taux de sédimentation très élevé. Son remblaiement partiel induit l'apparition des premiers

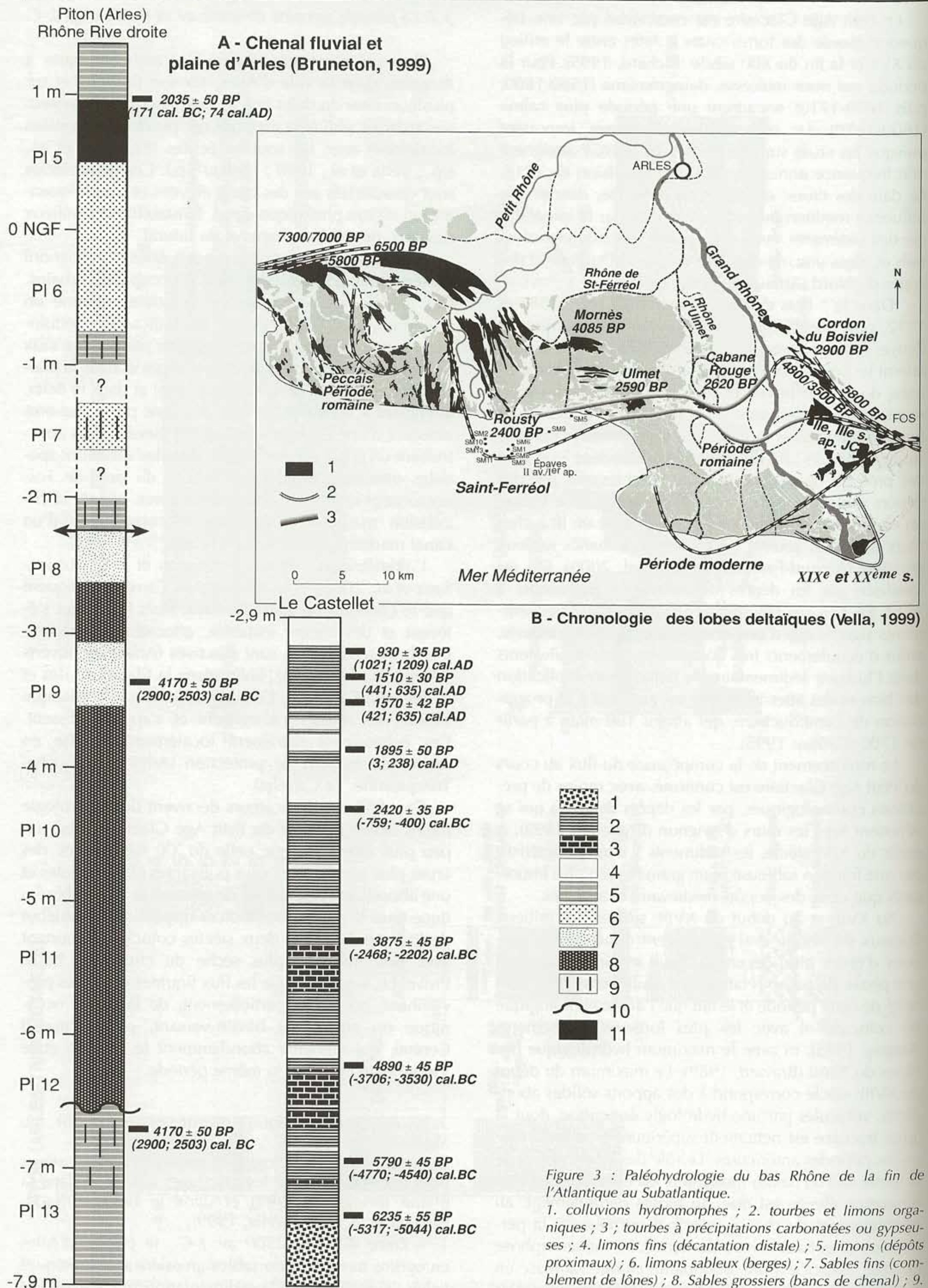


Figure 3 : Paléohydrologie du bas Rhône de la fin de l'Atlantique au Subatlantique. 1. colluvions hydromorphes ; 2. tourbes et limons organiques ; 3. tourbes à précipitations carbonatées ou gypseuses ; 4. limons fins (décantation distale) ; 5. limons (dépôts proximaux) ; 6. limons sableux (berges) ; 7. Sables fins (comblement de lônes) ; 8. Sables grossiers (bancs de chenal) ; 9. bioturbation, alluvio-sol ; 10. Hiatus d'enregistrement ; 11. niveau archéologique.

limons de débordement dans la plaine (entre 3706 et 3530 BC au Castellet) et y maintient élevé le niveau phréatique. Dans le delta, le lobe de Saint Ferréol prograde (barres sableuses d'embouchure entre 3750 et 3650 av. J.-C. à Mornès, vers 2600/2400 plus au sud), puis les lobes occidentaux de Peccais et Daladel, qui comblent rapidement de vastes espaces littoraux (fig. 3).

- Entre 2200 et 400 av. J.-C., après quelques siècles caractérisés par le retour à des niveaux phréatiques bas, plusieurs dépôts de crues atteignent de nouveau le Castellet (vers 2400-2200 et 750-400 av. J.-C.), associés à une montée des niveaux phréatiques. Dans le delta, cette période correspond à une déstabilisation du chenal, associée à des brèches et des dépôts sableux après 1640-1410 av. J.-C., et à l'avancée maximale du lobe de Saint-Ferréol.

Ces deux épisodes hydrologiques se déroulent dans un contexte climatique régional différent : le premier, contemporain de la phase sèche de l'Atlantique final en Provence (Bruneton *et al.*, 2000), est nécessairement alimenté par des flux hydrologiques allogènes. Le second coïncide avec les manifestations d'écoulements locaux à caractère torrentiel, fournisseurs d'une partie du bilan hydrologique du fleuve.

4. Interprétation et conclusion

Quatre épisodes d'hydrologie remarquable sont caractérisés, par rapport aux périodes qui les encadrent, par un niveau plus élevé des nappes phréatiques, des crues plus fréquentes, plus élevées et plus compétentes.

L'interprétation paléo-hydrologique doit tenir compte des effets induits par l'abondance de la charge solide, qui modifie les capacités d'écoulement du chenal, et par les modifications autocycliques de la plaine deltaïque. L'anthropisation du bassin-versant joue certainement un rôle croissant, qui biaise une lecture trop "climatique" des variations hydrologiques. La comparaison entre les épisodes d'hydrologie abondante et leur référencement au fonctionnement actuel sont difficiles, pour les mêmes raisons.

On retiendra quelques idées : (1) aucun épisode n'atteint l'intensité du Petit Age Glaciaire, en termes de compétence de la charge solide et de vitesse de progradation deltaïque. La participation de tous les sous-bassins versants, y compris méditerranéens, associe une plus grande abondance et une plus grande irrégularité, (2) les 1^{er} s. av.-ap. J.-C. correspondent à un fleuve un peu plus actif que celui du XX^e siècle, alimenté par la partie non méditerranéenne de son bassin-versant, (3) les épisodes antérieurs, entre 4000 et 2400 BP, s'expriment moins clairement en raison du confinement du chenal, hérité du Tardiglaciaire et de la probable multiplication des bras en amont d'Arles.

Bibliographie

- Antonelli, C., Provansal, M., Vella, C., soumis. Recent morphological changes of a channel in a deltaic environment. The case of downstream Rhone river, France. *Geomorphology*
- Arnaud-Fassetta, G., 1996. Les inondites rhodaniennes d'octobre 1993 et janvier 1994 en milieu fluvio-deltaïque. L'exemple du Petit Rhône. *Quaternaire*, 7, 2 : 139-153.
- Arnaud-Fassetta, G., 1998. Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône. Thèse Université Aix-Marseille 1. Presses Universitaires Septentrion, Lille, 329 p.
- Arnaud-Fassetta, G., Provansal, M., 1999. 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, *Hydrobiologia*, 410 : 241-250.
- 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., 2000. Evidence for an early landuse in the Rhône Delta (Mediterranean France) as recorded by late Holocene fluvial palaeoenvironments (1640-100 BC). *Geodinamica Acta*, 13 : 377-389.
- Arnaud-Fassetta, G., Quisserne, D., Antonelli, C., sous presse. Bedload discontinuum along a large and sequestered river channel: the case of the Rhône River Delta after 150 years of climatic-societal disturbances (SE France). *Regulated Rivers: Research and Management*.
- Bravard, J.P., 1989. La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Age et à l'Époque Moderne. *Revue de Géographie de Liège*, 25 : 145-157.
- Bruneton, H., 1999. Evolution holocène d'un hydrosystème nord méditerranéen et de son environnement géomorphologique. Les plaines d'Arles, entre les Alpilles et le Rhône, Thèse Université Aix-Marseille 1, 365 p.
- Bruneton, H., Miramont, C., Andrieu-Ponel, V., 2000. Deux enregistrements morphosédimentaires des rythmes climatiques en domaine méditerranéen du Tardiglaciaire à l'Atlantique (Bassin du Saignon, Alpes du Sud, Marais des Baux, Basse Provence), *Quaternaire*, vol. 12, n° 1-2 : 109-126.
- Bruneton, H., Arnaud-Fassetta, G., Provansal, M., Sistach, D., 2001. Geomorphological evidence for fluvial change during the Roman period in the lower Rhône valley (southern France), *Catena*.
- Caritey, C., 1995. L'évolution de l'embouchure du Rhône du milieu du XVII^e à la fin du XIX^e s. Relations avec le régime du fleuve. Maîtrise Université Aix-Marseille I, 100 p.
- Duboul-Razavet, C., 1956. Contribution à l'étude géologique et sédimentologique du delta du Rhône. *Mémoires de la Société Géologique de France*, 76, 234 p.
- Leveau, Ph, sous presse. Le franchissement du Rhône par Hannibal : le chenal et la navigation fluviale à la fin de l'âge du Fer, *Mélanges offerts à G. Barroul*
- L'Homer, A., Bazilen A., Thommeretn J., Thommeretn Y., 1981. Principales étapes de l'édification du delta du Rhône de 7000 BP à nos jours ; variations du niveau marin. *Oceanis*, 7, 4 : 389-408.
- Lopez-Saez, J.A., Heijmans, M., Leveau, Ph., Provansal, M., Bruneton, H., Sistach, D., 2000. Géoarchéologie d'un site urbain. Un égoût romain à Arles (France méridionale), *Colloque intern. De Gand, F. Vermeulen et D.D. Papper ed* : 119-125.
- Magny, M., 1995. Une histoire du climat, des derniers mammouths au siècle de l'automobile, *Errance*, Paris, 175 p.
- Oomkens, E., 1970. Depositional sequences and sand distribution in the postglacial Rhône delta complex. In (Morgan J.P. Ed.) *Deltaic Sedimentation Modern and Ancient* : 198-212.
- Pichard, G., 1995. Les crues sur le bas Rhône de 1500 à nos jours. Pour une histoire hydro-climatique. *Méditerranée*, 3-4, pp 105-116.
- Pons, A., Toni, C.L., Triat, H., 1979. Edification de la Camargue et histoire holocène de sa végétation. *Terre et Vie, Rev. Ecol.*, 2 : 13-30 + cartes.
- Provansal, M., Bravard, J.-P., Berger, J.-F., Salvador, P.-G., Arnaud-Fassetta, G., Bruneton, H., Vérot-Bourelly, A. Le régime du Rhône dans l'Antiquité et au Haut Moyen Age. *Gallia*, 56, 13-32.
- Roditis, J.C. et Pont, D., 1993. Dynamiques fluviales et milieux de sédimentation du Rhône à l'amont immédiat de son delta, *Méditerranée*, 3,4 : 5-18

Salvador, P.G., 2001. L'évolution holocène de la plaine alluviale de l'Isère dans l'ombilic de Moirans (Isère, France), *Quaternaire*, vol. 12, n° 1-2, 127-135.

Vella, C., 1999. Perception et évaluation de la mobilité du littoral holocène sur la marge orientale du delta du Rhône. Thèse Université d'Aix-Marseille 1, 229 p.

Vella, C., Leveau, Ph, Oberin, C., Provansal, M., Bourcier, M., Sciallano, M., Gassend, J.M., 1998. Histoire des variations du trait de côte du golfe de Fos : cohérence chronologique fondée sur les datations radiocarbone et les datations historiques et archéologiques, *Actes du colloque C14 Archéologie*, Lyon : 391-396.

ARCHÉOLOGIE AUJOURD'HUI

Les fleuves ont une histoire

Paléo-environnement
des rivières et des lacs français
depuis 15 000 ans

*Sous la direction de
Jean-Paul Bravard et Michel Magny*

éditions errance