

UN ATLAS DU PALÉO-ENVIRONNEMENT DE LA PLAINE ALLUVIALE DU RHÔNE DE LA FRONTIÈRE SUISSE À LA MER

*A PALAEO-ENVIRONMENTAL ATLAS OF THE RHONE RIVER ALLUVIAL PLAIN
FROM THE SWITZERLAND BORDER TO THE MEDITERANEAN SEA*

JEAN-PAUL BRAVARD ¹, MIREILLE PROVANSAL ², GILLES ARNAUD-FASSETTA ³,
SIMON CHABBERT ¹, PAULINE GAYDOU ¹, SIMON DUFOUR ², FRANCE RICHARD ²,
SOPHIE VALLETEAU ², GABRIEL MELUN ³, PAUL PASSY ³

¹ *Université Lumière-Lyon 2, UMR 5600 EVS, ZABR.*

² *Université de Provence, CEREGE.*

³ *Université Paris-Diderot (Paris 7), UMR 8586 PRODIG.*

Contact : jean-paul.bravard@univ-lyon2.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente l'atlas du paléo-environnement récemment établi pour la plaine alluviale du Rhône, de la frontière suisse à la mer, sous la maîtrise d'ouvrage de la DIREN-Rhône-Alpes, et avec l'assistance du CETE-Méditerranée. Cet atlas prend en compte la dynamique fluviale qui s'est exercée tout au long de l'Holocène, et il a été conçu dans le but premier de contribuer à la connaissance des inondations du Rhône. A titre d'exemples, sont présentées les cartes de deux secteurs, le premier à l'amont, et le second à l'aval.

MOTS-CLÉS : *ATLAS, PLAINE ALLUVIALE, HOLOCÈNE, RHÔNE.*

ABSTRACT

This paper presents the atlas of palaeo-environment recently established for the alluvial plain of the Rhone River from the Swiss border to the Mediterranean Sea, under the leadership of the French DIREN-Rhône-Alpes and the assistance of the French CETE-Méditerranée. This atlas takes into account the Holocene fluvial dynamics and mainly aims at contributing to a better knowledge of Rhône River floods. As examples, two areas (upstream and downstream) are presented.

KEYWORDS: *ATLAS, ALLUVIAL PLAIN, HOLOCENE, RHÔNE RIVER.*

INTRODUCTION

La cartographie «hydromorphologique» des zones inondables a été créée en 1983 par le Ministère de l'Équipement. La connaissance des inondations est basée sur la morphologie des lits fluviaux. Cette méthode naturaliste définit des unités géomorphologiques et leur donne une signification en terme d'aléa inondation ; elle distingue habituellement trois types de lits : la plaine alluviale est composée d'un lit majeur perché par rapport au lit moyen, lui-même perché par rapport au lit mineur, chacun des lits étant séparé par un talus. L'« encaissant » comporte les terrasses, les versants et les colluvions (Masson *et al.*, 1996 ; Ballais, 2006). Schématiquement, cette distinction repose sur le fait que la construction de la plaine alluviale par le dépôt de sédiments fins l'a progressivement exhausée et mise à l'abri des crues de forte fréquence. La légende de cette carte envisage la possibilité de l'existence de basses terrasses. Cette méthode identifie également les obstacles naturels influençant le fonctionnement de la plaine alluviale (axes d'écoulement hors lit mineur, l'érosion de berge, les bourrelets de berge, les talus, les forêts riveraines et les ripisylves) et les obstacles artificiels (ouvrages en lit mineur, station d'épuration, captage, urbanisation, embâcles). Sur les cartes figurent un fond de carte topographique IGN, les limites administratives, l'hydrographie, et les repères de crues historiques. Afin d'identifier les différentes unités géomorphologiques, la méthode s'appuie sur des missions de terrain ainsi que sur l'interprétation de photos aériennes. L'échelle des cartes est le 1/25 000°, complété par un zoom au 1/10 000° dans les secteurs à enjeu. La cartographie «hydromorphologique» a été principalement appliquée en Languedoc et en Provence (Chave *et al.*, 2006), ou encore dans la Marne (Marre

et al., 2006). Elle sert de support à la prévention des inondations car elle contribue à l'élaboration des plans de prévention des risques inondation.

Cet article propose une nouvelle méthode fondée sur des concepts adaptés à la vallée du Rhône, et plus généralement aux grands cours d'eau. Les crues du Rhône contemporaines s'écoulent en effet dans un lit mineur et un lit majeur qui ont été modifiés par les aménagements réalisés depuis plus de 200 ans (principalement depuis le milieu du XIX^e siècle) pour les besoins de la navigation et de la production hydro-électrique. Les grandes étapes sont l'endiguement du Rhône réalisé entre la fin des années 1840 et les années 1920 et la construction d'ouvrages hydro-électriques entre 1892 et 1986. Il est en outre important de souligner que le lit majeur du Rhône n'est pas une surface alluviale homogène, lissée par les dépôts de crue. Cette configuration peut être localement complexe et influencer la dynamique de propagation des flux débordants en situation de crue. En effet, la plaine alluviale du Rhône a enregistré une série de phases de « métamorphoses » depuis la mise en place du fonctionnement post-glaciaire. Elles se traduisent par le couplage de variations du profil en long et de mutations du style fluvial (tresses, méandres) qui laissent leur empreinte dans la plaine alluviale. Ces changements, sous contrôle climato-anthropique, ont été suffisamment importants pour localement soustraire une partie notable de la plaine alluviale à l'inondation pour des crues centennales (type crue de 1856). Il a donc été décidé de retenir la période 1860-1870 comme période de référence pour l'établissement des conditions de l'inondation sur un lit majeur naturellement complexe mais alors encore peu modifié.

I - MÉTHODOLOGIE

1 - Les concepts sur lesquels est fondé l'atlas du paléo-environnement de la plaine alluviale du Rhône

La complexité de l'archivage rhodanien s'inscrit dans le cadre d'une dynamique qui s'est exercée environ 10 000 ans, soit la durée de l'Holocène.

Entre environ 16000 et 10000 BP (dates non calibrées), les phases suivantes peuvent être distinguées :

- Entre Seyssel et le confluent de l'Ain, le Rhône a occupé d'anciennes cuvettes glaciaires transformées en lacs après la fusion des glaces. Il y a accumulé des sédiments depuis au moins 15000 ans.
- Depuis le début de la fusion du dernier grand glacier quaternaire issu des Alpes (vers 16000

ans avant l'actuel ou BP), le Rhône s'est enfoncé dans sa plaine alluviale qui avait été construite en période de forte abondance sédimentaire par les eaux de fonte des glaciers ; du moins l'a-t-il fait à l'aval du confluent de l'Ain, où débutaient ces accumulations. Les nappes d'alluvions fluvioglaciales ont été ennoyées et fossilisées sous des sédiments plus récents. Un secteur-clé de la problématique des inondations est celui de Pierrelatte-La Palud, celui où la nappe ancienne, aux sols rouges, plonge insensiblement sous les alluvions récentes ; la délimitation des zones inondables y est difficile. En revanche, la partie aval de sa vallée a subi les effets de la remontée du niveau marin (+ 120 m environ), lui-même consécutif à la fusion des grandes calottes de glace ; le niveau actuel est pratiquement acquis

vers 6000 BP (Vella et Provansal, 2000 ; Bruneton *et al.*, 2001 ; Arnaud-Fassetta, 2004).

- Des découvertes faites sur les sites de Lyon et du confluent de la Drôme semblent indiquer que le Rhône amont et moyen a connu une phase de très fort creusement vers 12000-11000 BP dans une phase de réchauffement climatique et de très faible transport sédimentaire. Le niveau des eaux y était plusieurs mètres sous le niveau actuel, sans que l'on sache si cette situation a caractérisé la totalité de la plaine entre le confluent de l'Ain et Avignon dans une période où le niveau marin restait bas. La plaine alluviale du Rhône est ensuite remontée de plusieurs mètres, probablement sous l'effet des forts apports de sédiments liés à une courte mais intense crise érosive, celle dite du Dryas récent (vers 11000-10000 BP).

On peut *grosso modo* estimer que la dynamique de la plaine alluviale du Rhône prend un tour nouveau pendant **la période dite «holocène» (depuis 10000 ans)**. A l'exception de lacs résiduels localisés dans certains secteurs du Haut-Rhône (dans la région de La Balme à Morestel), la plaine alluviale est en place. A l'aval, le delta s'édifie progressivement entre 7000 BP et la période historique moderne (Arnaud-Fassetta et Provansal, 1999 ; Arnaud-Fassetta *et al.*, 2005 ; Vella *et al.*, 2005). Il faut cependant considérer que le fonctionnement du Rhône fut tout sauf statique pendant cette période, ce qui explique la complexité des unités de la plaine alluviale actuelle.

Depuis une trentaine d'années, il est admis que **les cours d'eau appartiennent à deux grands types de «styles» ou modèles, les cours d'eau à lit unique et les cours d'eau à chenaux multiples.**

- Les lits à chenal unique sont rectilignes (très rarement), ou sinueux ; une forte sinuosité est qualifiée de méandre.
- Les lits à chenaux multiples et bancs mobiles qui sont dus au dépôt de matériaux (charge de fond en général, soit des galets dans le cas du Rhône amont, sables et graviers sur le Rhône aval), le cours d'eau s'avérant incapable de transporter sa charge soit qu'elle soit trop importante, soit que la faiblesse de son débit ne le lui permette pas.

On considère que ces deux styles fluviaux peuvent coexister sur un même cours d'eau. Le premier style est lié à un cours d'eau possédant la capacité de bien évacuer sa charge solide, le second style à un cours d'eau engorgé de sédiments. Ces caractères sont liés au climat et à l'action humaine dans les bassins versants, ainsi qu'au «travail d'autoajustement» propre à la rivière (autocyclicité ; Schumm, 1977).

Lorsque deux cours d'eau au comportement différent confluent, le plus important des deux impose son style à l'autre. Puis, en général, la pente diminue vers l'aval, donc la capacité de transport de la rivière, qui

dépose sa charge grossière. Le cours d'eau adopte donc un style à chenal unique.

Il est admis que les deux grands types de styles fluviaux, méandres et tresses, peuvent se succéder dans le temps sur un même tronçon fluvial.

Tel est le cas si le climat varie et/ou si l'occupation du bassin versant induit des modes d'occupation du territoire et des formes de protection végétale différents. En d'autres termes, sur un même tronçon, les tresses peuvent succéder aux méandres et inversement. On qualifie ces variations de fonctionnement et de paysages de «métamorphoses fluviales».

Sur le Rhône, comme sur la plupart des fleuves européens, plusieurs métamorphoses fluviales se sont produites pendant l'Holocène et elles ont laissé leurs héritages dans les formes des fonds de vallées.

Le schéma général (très simplifié) est le suivant :

- 10 000 à 8 000 BP : tresses ;
- 8 000 à 2 800 BP : méandres, ce qui n'exclut pas des phases de tressage courtes (plus nettement marquées sur les affluents, très «réactifs», que sur le fleuve lui-même qui enregistre les variations de manière amortie ;
- 2 800 à 2 400 BP : tresses ;
- 2 400 BP à 1 400 ap. J.-C. : méandres ;
- 1 400 à 1 850 ap. J.-C. : tresses (le Petit Âge Glaciaire).

Les héritages anciens sont les moins bien conservés, ce qui explique que l'on insiste sur les trois derniers millénaires. Ces métamorphoses se traduisent progressivement vers l'aval, à la vitesse du transit de la charge de fond (quelques km à dizaines de km par siècle ; Salvador, 1991 ; Arnaud-Fassetta, 1998) : elles affectent donc différemment les secteurs amont et aval de chaque affluent et du cours principal. Sur le Rhône aval, les phases les plus anciennes sont masquées par l'empilement sédimentaire lié à la montée du niveau de base (Bruneton, 1999).

La dynamique holocène ne s'exprime pas seulement par les changements de style fluvial (métamorphoses). La dynamique du lit du Rhône et de ses affluents s'exprime aussi par les variations du niveau des lits fluviaux par des processus d'enfoncement (incision) et d'exhaussement (aggradation). En effet, les périodes de l'Holocène caractérisées par un déficit relatif de la charge solide (de fond) connaissent une incision des lits fluviaux ; inversement, les périodes d'excès ne connaissent pas seulement une métamorphose au profit du style en tresses, mais aussi une dynamique d'exhaussement qui peut atteindre plusieurs mètres. Dans le delta, les défluviations (changements de lit) des différents bras sont une réponse morphologique aux modifications des apports sédimentaires et du relief de la plaine (Arnaud-Fassetta, 1998, 2004).

Les effets de cette dynamique sur l'inondabilité actuelle de la plaine alluviale sont très sensibles puisque la hauteur relative des unités spatiales conditionne la mise en eau lors des crues inondantes.

- Les plus hautes unités alluviales, construites ou encore actives au début de l'Holocène, et perchées par l'effet de l'enfoncement du lit fluvial, ne sont plus inondables à l'époque contemporaine (elles sont hors lit majeur). Elles sont pourtant considérées comme « alluvions modernes » sur les cartes géologiques.
- Dans le lit majeur, une partie des unités spatiales est faiblement inondable : ce sont les basses terrasses perchées par l'enfoncement du fleuve et/ou les surfaces progressivement surélevées par l'accumulation de limons de crue.
- Les surfaces récemment façonnées par le fleuve quand il possède un lit unique et mobile (dynamique d'érosion latérale en rive concave, d'accumulation en rive convexe) sont inondées pour des crues de forte fréquence. Elles s'apparentent au « lit moyen » de la carte hydro-géomorphologique.
- Le Rhône a connu la longue phase d'exhaussement et de tressage du Petit Âge Glaciaire qui a permis la remontée et l'élargissement du fleuve sur l'essentiel de son cours (Arnaud-Fassetta et Provansal, 1999 ; Provansal *et al.*, 2003). Cette phase s'achevait vers 1860-1870, période de levé des cartes de l'Atlas des Ponts et Chaussées. Il en résulte que la « bande active » de cette période appartient au lit mineur et, par ses bancs alluviaux plus ou moins colonisés par la végétation, également au « lit moyen ». En revanche, le statut de secteurs de la bande active du PAG abandonnés pendant cette période par le glissement latéral du fleuve, ou volontairement isolés par des digues est très particulier : certaines unités ont été perchées de quelques décimètres, voire plus, quand le fleuve a incisé son lit ; d'autres sont au contraire en contrebas du lit mineur lorsque ce dernier a continué à s'exhausser. C'est la raison pour laquelle il a paru nécessaire de distinguer ces sous-unités.

2 - Source des données

La vallée du Rhône possède un excellent document de référence qui est la *Carte topographique du cours du Rhône*, levée par les Ponts et Chaussées au 1/10 000^e dont les relevés et la parution se sont échelonnés entre 1846 et 1870. Les feuilles, regroupées dans deux atlas, figurent les limites de la crue de mai 1856 considérée comme centennale (la crue de « référence » des PSS puis des PPRI actuels), ainsi que des cotes centimétri-

ques permettant de différencier les unités spatiales de la plaine en fonction de leur altitude. Ces cartes ont été utilisées sur l'ensemble du tronçon et ont permis de dresser les minutes des feuilles de l'atlas du paléo-environnement (Bravard *et al.*, 2007) ; elles donnent un état des lieux très fiable avant la période des grands aménagements.

D'autres documents ont été utilisés : cartes anciennes, cartes d'Etat major, cartes géologiques, photographies. Des visites de terrain ont permis de préciser les connaissances sur certains secteurs. Les acquis de la géoarchéologie ont été systématiquement mobilisés pour réaliser les planches de l'atlas du paléo-environnement.

3 - Restitution des résultats

L'atlas (Bravard *et al.*, 2007) couvre tout le cours français du fleuve, de Chancy-Pougny à l'embouchure et s'étend à l'ensemble de l'ancien lit majeur en incluant à la fois les inondations liées au fleuve et celles qui lui sont connexes (petits cours d'eau adjacents, plus ou moins permanents), ainsi que toutes les zones de confluences avec ses grands affluents.

Les cartes de l'atlas ont été produites à l'échelle du 1/25 000^e sur l'ensemble du tronçon. Dans ce but, l'atlas des Ponts et Chaussées et les informations historiques ont été géoréférencés et placés dans un SIG ; le support est le « scan » de l'IGN. Le géoréférencement des cartes anciennes est délicat, étant donné l'absence de coordonnées Lambert II. Le logiciel utilisé pour ce travail est MapInfo version 7.5. Les données ont été structurées dans plusieurs tables :

- S_INON : la surface inondable, comprenant les unités géomorphologiques ;
- S_ENCA : surface de l'encaissant ;
- L_HYDR : les cours d'eau ;
- L_ENCA : limite de la plaine alluviale ;
- L_GEOM : anciens chenaux ;
- L_OANT : éléments d'occupation du sol qui modifient l'hydrodynamisme (ouvrages d'art, digues, front d'urbanisation) ;
- L_HIST : limite de la crue de 1856, des crues antérieures et postérieures, suivant les données
- L_ETUD : limite de la zone d'étude ;
- P_HIST : point d'information historique, repères de crue.

Toutes les tables ont été codées, selon le codage DIREN.

Les cartes produites sont à trois échelles :

- Le 1/100 000 pour une vision générale ;
- Le 1/25 000 pour une vision moyennement détaillée ;
- Le 1/10 000 pour les « zooms » (Lyon).

II - LA LÉGENDE DE L'ATLAS

La légende de l'atlas (Figures 1a et 1b) a été élaborée pour la réalisation du système d'informations géographiques. Elle comporte deux types d'éléments :

1 - Les informations de nature « surfacique »

Sur le plan taxonomique, cette légende est composée de 6 unités majeures, 20 sous-unités et 17 unités de rang inférieur emboîtées dans 4 des sous-unités, soit un total de 47 unités élémentaires. La conception de cette légende est telle que d'autres sous-unités peuvent être ajoutées aux unités existantes en fonction des progrès des connaissances. La logique de présentation va des unités les moins exposées aux inondations aux unités les plus exposées.

La plaine holocène inondée par des crues fortes à exceptionnelles. Cette catégorie rassemble des unités spatiales de la plaine alluviale relativement protégées pour les crues faibles, voire devenues non inondables au fil des siècles. Cette relative protection s'explique pour des raisons génétiques et par l'effet d'aménagements humains déjà efficaces vers 1860. On distingue plusieurs types :

- *Basse terrasse holocène non inondée en 1856 (011)* : ces surfaces ont été inondables pendant la première partie de l'Holocène et ont fait partie du lit majeur, mais en sont sorties : (1) Par l'incision du cours d'eau pour des raisons qui relèvent de la dynamique fluviale (balance flux d'eau-flux de sédiments ayant conduit à un déstockage alluvial) ; (2) Par la surrection de la région sous l'effet de la néotectonique et/ou du « rebond isostasique » consécutif à la disparition des masses de glace coalescente qui recouvraient les Alpes, le Jura et le piémont du Bas-Dauphiné lors de la dernière glaciation dite du Würm, jusque vers 16000 BP. Ces surfaces sont susceptibles d'être inondées pour des crues de plus faible fréquence et l'ont peut-être été pendant les siècles qui ont précédé 1856.
- *Basse terrasse holocène non inondée en 1856 mais inondée depuis (012)* : Ces surfaces sont particulièrement sensibles à toute modification de la géométrie en 3D du lit majeur du fait des aménagements contemporains et de leurs impacts sur les écoulements.
- *Plaine alluviale inondée en 1856 (013)* : des surfaces situées sur les marges du lit majeur, inondées sous de faibles hauteurs d'eau pour la crue

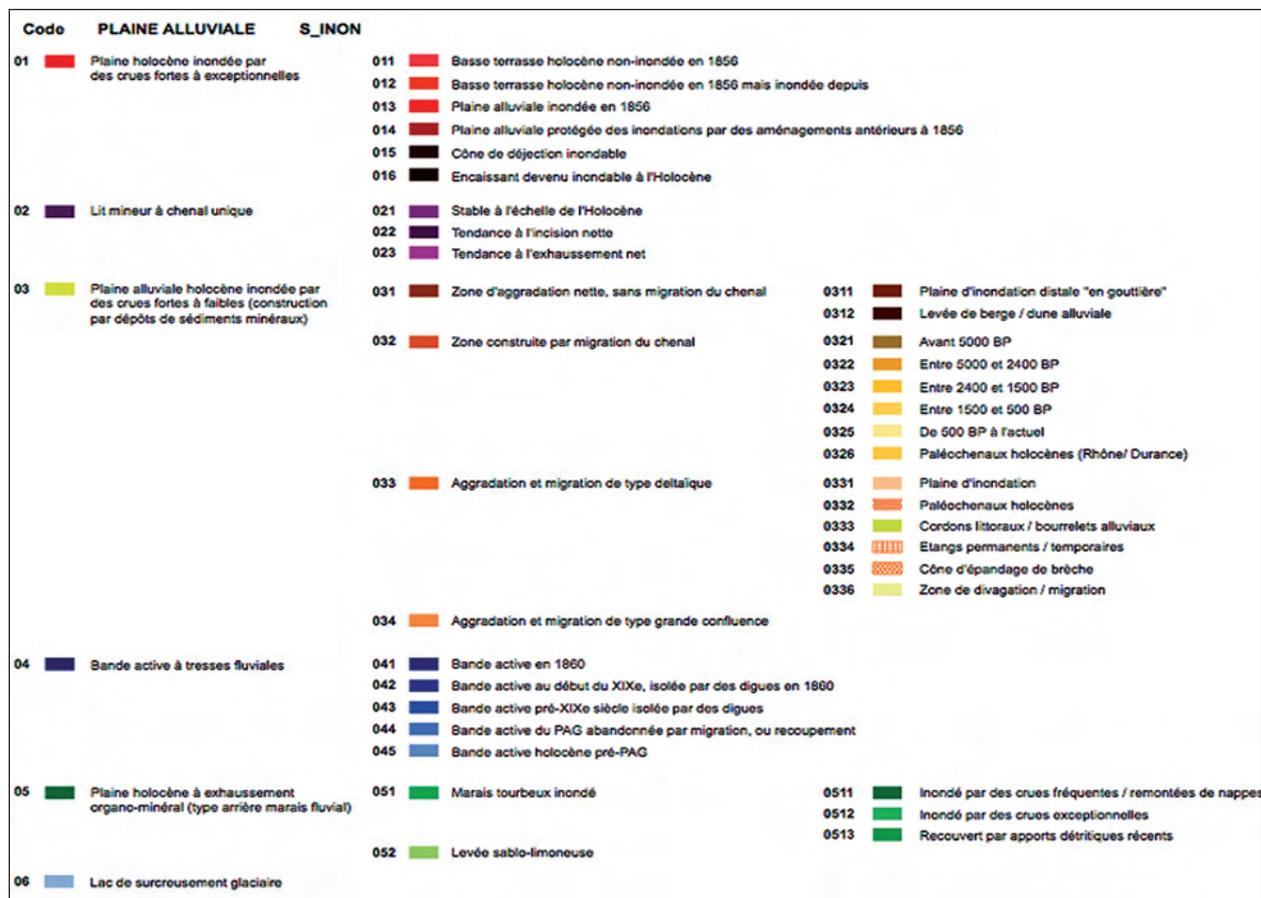


Figure 1 a - Légende de l'atlas pour les objets de nature « surfacique ».

centennale de référence (quelques décimètres). Elles ont été perchées de manière relative par des alluvionnements répétés sur la longue durée ou par l'effet de l'incision du cours d'eau et/ou par la tectonique.

- *Plaine alluviale protégée des inondations par des aménagements antérieurs à 1860 (014)* : certains tronçons du Rhône ont fait l'objet d'aménagements destinés à lutter contre les inondations. Il s'agit de levées de terre qui n'empêchent pas les remontées phréatiques ou les inondations par l'aval.
- *Cône de déjections inondable (015)* : les affluents du Rhône sont des torrents ou des rivières torrentielles. Une partie des édifices torrentiels construits aux marges de la plaine alluviale sont inondables pour la crue de référence ; d'autres sont des héritages de formes construites antérieurement, par exemple lors de la dernière période froide. Ceux du Guiers, de l'Ain, de la Drôme, du Gardon, de la Durance étaient particulièrement actifs au milieu du XIX^e siècle.
- *L'encaissant devenu inondable à l'Holocène (016)* : Dans certains secteurs, l'évolution des fonds a influencé celle de la ligne d'eau du fleuve en crue. Un dépôt alluvial a exhaussé le fond du chenal, augmenté la hauteur d'eau, à crue égale, et étendu la superficie inondée aux dépens de l'encaissant.

Lit mineur (style à chenal unique). Ce type de lit est en général étroit et relativement profond, subrectiligne ou sinueux ; les secteurs à vrais méandres sont courts. On rencontre ce type de lit dans les secteurs où le volume de charge de fond en transit est relativement limité. Là où il existait vers 1860, période de plus fort charriage, on est en droit de supposer qu'il a toujours existé à l'Holocène.

La distinction qui est ici proposée repose sur la tendance du profil en long sur le moyen ou le long terme. En effet, un exhaussement du lit, lié à des dépôts dans le chenal, augmente la hauteur des crues et des inondations ; en revanche, un enfoncement la réduit. Cette tendance peut avoir été constante ou avoir changé au cours de l'Holocène ; tout dépend des bilans sédimentaires successifs et du rôle joué par la tectonique qui peut favoriser l'enfoncement si elle est positive.

- *Lit stable à l'échelle de l'Holocène (021)* : Le lit du Rhône n'a pas évolué ou on ne possède pas d'information probante sur la question.
- *Tendance à l'incision nette (022)* : ce processus, qui réduit la hauteur et l'extension des débordements, peut être dû : (1) à un déficit de charge de fond, qui provoque une reprise de matériaux sur le fond. Ce processus a pu être interrompu à plusieurs périodes pendant l'Holocène par des réactivations du transport de charge de fond sous effet d'une érosion accrue (causalités

climato-anthropiques) et d'une activité hydrologique renforcée ; (2) la surrection tectonique, qui provoque une modification des pentes et un réajustement du profil en long, lequel se fait par creusement ; (3) à des actions humaines contemporaines (XVIII^e-XIX^e siècle) qui, en resserrant le lit dans un contexte de relative pénurie sédimentaire, augmentent les forces tractrices et provoquent un réajustement localisé mais qui peut se propager vers l'amont ou vers l'aval.

- *Tendance à l'exhaussement net (023)* : ce processus augmente la hauteur et l'extension spatiale des inondations. Ce type de lit se rencontre : (1) à l'aval des secteurs en tresses ou d'affluents à fort transport solide dont ils reçoivent leur alimentation en charge de fond ; (2) en théorie dans les secteurs subsidents (enfoncement sous contrôle tectonique), mais ce type de dynamique n'est pas identifié ou se produit à une vitesse trop lente pour affecter les processus liés à la dynamique fluviale ; (3) dans les tronçons aménagés à l'aide de digues dans des tronçons à fort transport solide.

La plaine alluviale holocène inondée par des crues fortes à faibles.

A la différence du type (01), les unités de type (03) sont inondées sous des hauteurs d'eau supérieures et plus fréquemment. Ces secteurs de la plaine alluviale sont localisés en bordure d'un lit mineur unique ou en arrière d'une bande de tressage active. Le manque de données paléo-environnementales fait retenir le type simple (03). Ce fonctionnement peut relever de deux modes : (1) Un exhaussement sensible du lit mineur (type 02) ; ce cas est rare. NB : le type 04 (bande active en tresses) est plus fréquemment associé à des unités de type (05), mais on rencontre localement des unités de type 03 en arrière d'une bande active suite à une métamorphose fluviale ; (2) Ces unités ont en général été construites en marge d'un chenal stable ou par la migration latérale du chenal principal (lit unique) au cours de l'Holocène. Comme l'exhaussement de l'espace abandonné par migration est progressif, plus la migration du chenal est ancienne, plus la hauteur relative de l'unité sédimentaire est élevée. On distingue 4 situations :

- *Zone d'aggradation nette (exhaussement) de l'unité, sans migration latérale du chenal (031)* : ces unités spatiales très anciennes sont exhaussées sur la longue durée de l'Holocène, du moins depuis la fixation du chenal. Elles sont formées de bancs de galets datant de la phase de mobilité initiale, surmontés d'une épaisseur assez forte de sédiments fins. Sur le Rhône aval, entre Beaucaire-Tarascon et la mer, les apports sédimentaires fins abondants, fixés préférentiellement à proximité du chenal, sont à l'origine d'une plaine « en toit » : la bande active y est surélevée de plusieurs mètres au-dessus de la plaine d'inon-

dation ou lit majeur. On peut donc y distinguer deux unités différentes qui semblent se mettre en place tardivement, à partir de l'époque moderne (Petit Age Glaciaire) :

- *La plaine d'inondation distale « en gouttière » (0311)* : elle est caractérisée par la persistance de zones humides en relation avec l'affleurement de la nappe phréatique et/ou le mauvais ressuyage des eaux d'inondation. Ces espaces ont souvent nécessité des travaux de drainage pour être mis en culture et habités. Ils présentent encore de fortes contraintes liées aux problèmes d'évacuation des eaux lors des crues.
- *Des levées de berges/dunes alluviales dans la zone proche du chenal (0312)* : ces secteurs linéaires, de largeur variable, ont été et sont encore le lieu d'une sédimentation abondante et plus grossière. Celle-ci peut être amplifiée par la rugosité due à la présence de la ripisylve. Le bon drainage de ces espaces surélevés explique la localisation des habitations isolées et de l'agriculture.
- *Zone construite consécutivement à la migration du chenal (032)* : ces unités ont été isolées par migration du chenal et dépôt de la charge de fond dans la convexité de la sinuosité. Les épaisseurs de sédiments fins déposés sur les bancs de galets, donc la hauteur relative de ces unités, dépendent surtout de leur ancienneté. On a distingué, pour simplifier, 5 périodes de construction des unités, les limites chronologiques étant considérées valables sur l'ensemble du Rhône :
 - Construction depuis 5000 ans au moins (0321).
 - *Construction entre 5000 et 2400 BP (0322)* : cette dernière date correspond à la fin d'une période de forte activité fluviale (Premier Âge du Fer).
 - *Construction entre 2400 et 1500 BP (0323)* : cette dernière date correspond à une autre rupture hydro-climatique majeure pour la 2^e moitié de l'Holocène. La période est considérée comme calme sur le plan hydro-morphologique, les méandres sont le style fluvial unique.
 - *Construction entre 1500 et 500 BP (0324)* : le début de la période est actif sur le plan hydrodynamique, la période post 1000 BP est réputée calme, sauf certaines décennies des XIII^e-XIV^e siècles.
 - *Construction entre 500 BP et 1860 (0325)* : Période dite du Petit Âge Glaciaire, à forte activité et crues débordantes fréquentes.
 - Dans la plaine aval, entre Avignon et Tarascon-Beaucaire, une vaste cuvette alluviale située à l'est du massif de la Montagnette est parcourue par des chenaux ou « durançoies », qui étaient encore fonctionnels au cours de la période romaine, puis se sont progressivement colmatés. Ils conduisent actuellement les crues de Durance, directement vers la plaine du Trébon. Ils ont pu évacuer les crues du Rhône à une période indéterminée. En raison de leur indétermination chronologique, ils ont été cartographiés comme *Paléochenaux holocènes (Rhône/Durance 0326)*.
- *Aggradation (exhaussement) et migration de type deltaïque (033)* : ces unités font l'objet d'une représentation particulière, en raison de leur proximité du niveau de base marin. Elles sont mises en place au fur et à mesure de la progradation deltaïque holocène, les plus méridionales étant les plus récentes (contemporaines du Petit Age Glaciaire). La pente longitudinale très faible a favorisé de fréquents déplacements des chenaux fluviaux, dont les inondations balaient toute la plaine deltaïque. La très faible altitude absolue (parfois négative) crée des problèmes de ressuyage et d'évacuation des eaux. On distingue six sous-unités dont le comportement est très différent vis-à-vis de l'aléa inondation :
 - *Plaine d'inondation (0331)* : unité spatiale séparant les chenaux, inondée sous des hauteurs d'eau importantes, connaissant des problèmes de ressuyage et d'évacuation des eaux. Elle est caractérisée par des formations végétales spécifiques, en fonction du gradient de salinité.
 - *Paléo-chenaux holocènes (0332)* : généralement des chenaux de lit mineur (chenal unique) à sinuosité plus ou moins marquée. Abandonnés par les avulsions successives, ils ont été colmatés, mais leur tracé subsiste, correspondant à des dépressions linéaires humides, parfois marécageuses. Le colmatage est d'autant plus important que ces chenaux sont anciens.
 - *Cordons littoraux et berges alluviales (0333)* : on regroupe ici tous les espaces linéaires, correspondant aux points hauts du delta (généralement < 3 m NGF), qualifiés localement de « montilles ». Leur altitude et leur constitution sableuse en font des secteurs abrités des crues, même fortes, et bien drainés. Ils sont d'origine marine ou fluviale et peuvent avoir été déplacés ou déformés en dunes par le vent.
 - *Etangs permanents (0334)* : ils s'apparentent aux unités 051, mais restent généralement inondés toute l'année, en raison de leur position altimétrique proche ou inférieure au niveau marin. Ils sont formés d'eau douce au nord du delta, d'eau salée voire sursalée au sud. Les inondations font varier la salinité.
 - *Deltas de rupture de levée (ou crevasses) (0335)* : les crues anciennes ont fréquemment provoqué des ruptures de berges,

entraînant la formation d'évantaux digités, souvent sablo-limoneux, qui constituent des points hauts, mieux drainés, donc moins submersibles. Ils sont généralement situés à l'apex des sinuosités de la plupart des chenaux, actifs et fossiles.

- *Zone de divagation/migration (0336)* : la très faible pente longitudinale et l'abondance de la charge sédimentaire sont à l'origine de nombreux changements de tracé des bras du delta (défluviations ou avulsions). Ils entraînent l'apparition de diffluences, avec des vestiges de bras à fonctionnement temporaire. Les cordons sableux littoraux transverses ralentissent les écoulements et provoquent l'apparition de méandres aux convolutions complexes. Ces évolutions créent une topographie irrégulière de levées alluviales et de creux discontinus. Ces espaces peuvent présenter des difficultés de drainage lors des crues.
- *Aggradation et migration de type « grande confluence » (034)* : de vastes constructions caillouteuses en forme d'éventail ont été mises en place dans le corridor rhodanien ; elles sont exhaussées par des sédiments fins sur leurs marges. Certaines de ces unités sont très anciennes, comme celle de la Drôme qui a plus de 10 000 ans. Les cônes qui connaissent une dynamique de construction active sont en général inondables, sauf protection par des digues.

Bande active à tresses fluviales. Il s'agit du 2^e grand type de style fluvial avec le type « lit unique ». Il s'agit d'un style à chenaux multiples, à bancs de galets, de graviers ou de sables mobiles et/ou îles stabilisées (boisées). Il caractérise le Petit Âge Glaciaire qui a duré du XV^e au XIX^e siècle., mais sans doute avec des phases de répit. La dynamique de tressage est caractérisée par des afflux de charge de fond qui excèdent en général la capacité de transport. Il en résulte une tendance de pas de temps multiséculaire à l'exhaussement et à l'élargissement de la bande active ; celle-ci peut occuper une largeur de 2 à 3 km dans les zones proches des apports importants. D'une manière générale, la bande active est entièrement inondable pour des débits de crue faibles. On peut cependant distinguer plusieurs types d'unités :

- *Bande active en 1860 (041)* : il s'agit de la bande active à chenaux mobiles et bancs de galets frais, remobilisés pour les hautes eaux.
- *Bande active au début du XIX^e siècle., isolée par des digues en 1860 (042)* : cette unité est alors en voie de conquête grâce aux endiguements. Les digues insubmersibles protègent des inondations directes (cf unité 014) mais peuvent laisser l'exhaussement sablo-limoneux opérer. Les digues submersibles (revêtements de berge) stabilisent l'unité (en plan), mais laissent passer des débordements à forte vitesse, défavorables à l'accumu-

lation de sédiments fins.

- *Bande active pré-XIX^e siècle. isolée par des digues (043)* : cette unité est plus ancienne que la précédente et a en général enregistré un exhaussement sablo-limoneux, mais de faible ampleur.
- *Bande active du Petit Âge Glaciaire abandonnée par migration (044)* : il existe des unités de la bande d'activité moderne abandonnées sur les marges de la bande active du milieu du XIX^e siècle ; la dynamique d'abandon est naturelle et ne fait pas appel à des endiguements sauf épis localisés que seule une étude d'archives permettrait de documenter. Ces unités sont caractérisées par la fixation des îles et par leur exhaussement ainsi que par le remblaiement en cours des chenaux qui, en plan, sont stabilisés.
- *Bande active pré-PAG (holocène) (045)* : cette unité correspond à l'enregistrement dans la plaine alluviale de processus de tressage anciens, en tout cas antérieurs au PAG. Il s'agit la plupart du temps d'unités spatiales construites lors de crises hydro-climatiques, comme au premier Âge du Fer et peut-être au Subboréal.

Plaine holocène à exhaussement organo-minéral (type arrière-marais fluvial).

Les unités de ce type sont présentes dans les tronçons à fort exhaussement holocène net (cet exhaussement peut être entrecoupé de phases de creusement du lit et d'abaissement de la nappe phréatique, mais la tendance longue est à la capitalisation de l'exhaussement). L'exhaussement du lit explique la présence d'une nappe phréatique haute et des conditions d'hydromorphie favorisant la conservation de la tourbe. Ce type d'unité se rencontre dans deux grands domaines géographiques :

- à l'amont dans les anciennes cuvettes (ombilics) glaciaires localisées entre le Fier à l'amont et la cluse de La Balme. Après la déglaciation, la tendance a été au remblaiement par le cône de déjections du Rhône bien alimenté par ses tributaires (Arve, Valserine, Fier, etc.). Le Rhône a isolé deux cuvettes latérales dans lesquelles la sédimentation limono-organique dépasse 6 m en Chautagne et 10 m dans le marais de Lavours.
- à l'aval, dans la zone affectée par la montée relative du niveau marin.

On peut distinguer deux types de sous-unités spatiales :

- *Marais tourbeux inondés (051)* : ces marais, localisés sur les marges de la plaine, sont alimentés en eau par des débordements privés de leur charge en suspension, par des remontées phréatiques et par des apports karstiques issus des versants. On peut distinguer trois situations :
 - *Marais inondés par des crues fréquentes (0511).*
 - *Marais inondés par des crues exceptionnelles (0512).*

- *Marais recouverts par apports détritiques récents (0513)* : sur le bas Rhône, les apports sédimentaires des grandes inondations et les colluvions des versants ont atterri certains marais marginaux (plaine d'Arles).
- *Levées sablo-limoneuses (052)* : elles sont construites par les débordements sur la marge de la bande active ; les sables limoneux, très abondants, sont piégés par la végétation riveraine. Un gradient granulométrique en direction de l'unité (051) est caractéristique.

Lac d'origine glaciaire ou de surcreusement glaciaire. Le Rhône amont, entre Seyssel et Groslée, a été soumis au surcreusement glaciaire aux dépens de la molasse tendre logée dans les synclinaux. Des cuvettes lacustres ont subsisté plusieurs millénaires après la fonte du glacier würmien ; seule subsiste dans ce secteur la cuvette du lac du Bourget. Elle joue un rôle majeur dans l'écrêtement des crues, étant en communication avec le Rhône.

Logique d'assemblage des unités spatiales de la légende.

- Les unités 02 et 03 se construisent en relation étroite les unes avec les autres : le chenal à lit unique (02) migre latéralement et construit les unités de type 03.
- Les unités 04 et 05 sont en général associées : c'est le comportement de la bande active en tresses (04) qui conditionne le plus souvent celui des zones humides situées en arrière (05). La remontée marine a produit le même effet dans le secteur du delta.
- Lorsque le Rhône a subi une métamorphose fluviale, il a substitué un type de lit mineur à un autre (02 à 04, et inversement). Dans ce cas, la plaine alluviale juxtapose des unités héritées de la phase précédente et des unités fonctionnelles (par exemple : 02, 03 et 04). Ce dispositif, qui correspond à la réalité des faits, accroît la complexité de la plaine alluviale et des conditions de sa mise en eau par les crues inondantes.

2 - La légende des informations de nature linéaire

Elles correspondent aux exigences et aux codes de la DIREN. Elle comprend :

- *Les cours d'eau en 1860* : ce sont les affluents du Rhône, selon le tracé de 1860. Ils sont intéressants pour la cartographie car ils forment des cônes de déjections plus ou moins importants, contribuent à apporter un débit solide et liquide au Rhône, et peuvent refléter la même dynamique que celui-ci (exemple du Sérans en marais de

Lavours qui forme une levée sablo-limoneuse sur ses berges, comme le Rhône).

- *La limite nette de la plaine alluviale* : elle correspond à la limite des alluvions modernes de la carte géologique. Elle sépare l'encaissement de la plaine alluviale.
- *Les digues* : ce sont les ouvrages construits en 1860 pour protéger la plaine alluviale des inondations ou de l'érosion. Elles peuvent être submersibles (revêtements de berge : enrochements, perrés, murs) ou insubmersibles, en surélévation sur la plaine.
- *Les anciens chenaux* : ce sont des chenaux de type méandre ou tresses qui ont été abandonnés par le Rhône par métamorphose fluviale, migration du Rhône, ou isolement par des digues. Ils peuvent être remis en eau pour des besoins actuels. C'est ce que l'on appelle les « lônes ». Elles sont représentées sur une carte par des parcelles longitudinales, souvent des prairies, plus humides, recouvertes par une forêt alluviale ou un marais. Les anciens chenaux ont un sol organo-minéral et un taux de matière organique supérieur au sol de la plaine alluviale.
- *La limite de la crue de 1856* : cette crue est la crue de référence sur le Rhône. A cette date, les changements hydrogéomorphologiques ou anthropiques influencent peu les écoulements.

Code		S_ENCA
01		Colluvions
02		Terrasse fluvio-glaciaire ou fluviale
03		Versants
04		Cône de déjection
Code		L_HYDR
01		Cours d'eau
02		Voie d'eau artificielle
Code		L_ENCA
01		Limite nette de la plaine alluviale
Code		L_OANT
01		Digues
02		Ouvrage d'art
03		Front d'urbanisation
Code		L_GEOM
01		Ancien chenal
Code		L_HIST
01		Limite de la crue de 1856
02		Limite relevée lors d'une enquête postérieure à 1856
03		Limite antérieure à 1856
Code		P_HIST
01		Repère de crue

Figure 1 b - Légende de l'atlas pour les objets de nature «linéaire».

3 - Légende de « l'encaissant »

- *Les colluvions* sont des dépôts issus d'apports latéraux provenant de l'érosion aréolaire des versants.
- *Terrasse fluviale ou fluvioglaciale* : c'est une terrasse en général plus haute de quelques mètres que les basses terrasses holocènes (+ 1 à 2 m pour ces dernières); elle est formée par l'incision du Rhône dans des dépôts fluviatiles anciens ou dans les dépôts liés à la fusion des glaciers quaternaires. Dans la région de Pierrelatte, la terrasse fluvioglaciale plonge sous la plaine holocène, pour rejoindre un niveau marin régressif de période froide environ 70 m sous le littoral du delta actuel.

- *Le versant* correspond à différents types de structures : escarpements de faille, en particulier sur le rebord du Massif Central, retombée de pli dans les roches calcaires, talus d'érosion en roche tendre, etc.
- *Cône de déjections* : Au niveau de l'arrivée dans le couloir rhodanien et de la confluence avec le Rhône, la pente de l'affluent devient plus faible, ce qui provoque le dépôt des matériaux transportés ; un cône torrentiel ou un cône alluvial (de pente plus faible) se forme. Avec le temps, les dépôts successifs se surélèvent et peuvent contribuer à soustraire le cône aux inondations ; le cône fait alors partie de l'encaissant.

III - COMMENTAIRE ET INTERPRÉTATION DES CARTES DE DEUX SECTEURS

Deux secteurs ont été sélectionnés, le premier à l'amont, qui enregistre plusieurs métamorphoses fluviales, le second à l'aval, dans un contexte qui met en valeur les nuances de la topographie (Figure 2)

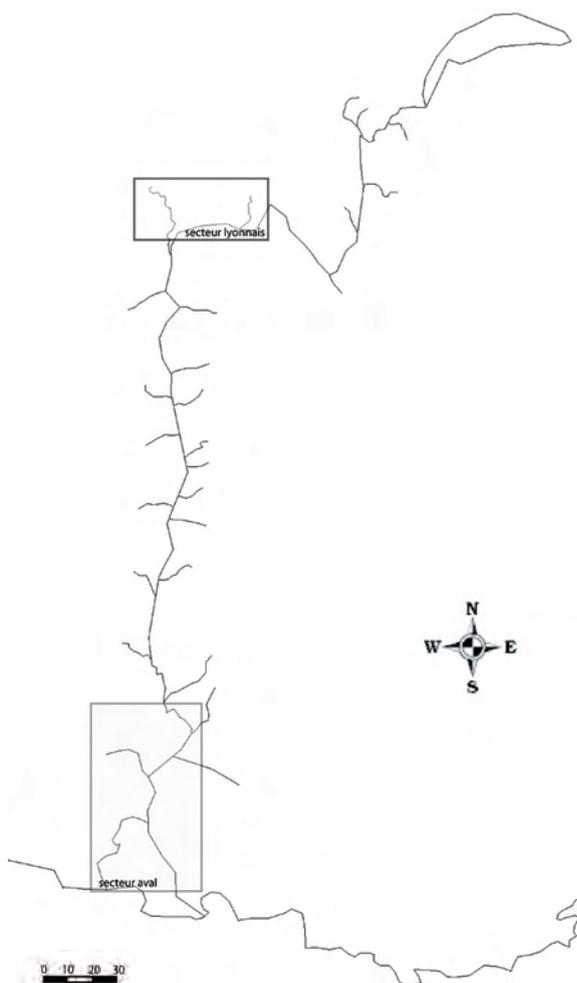
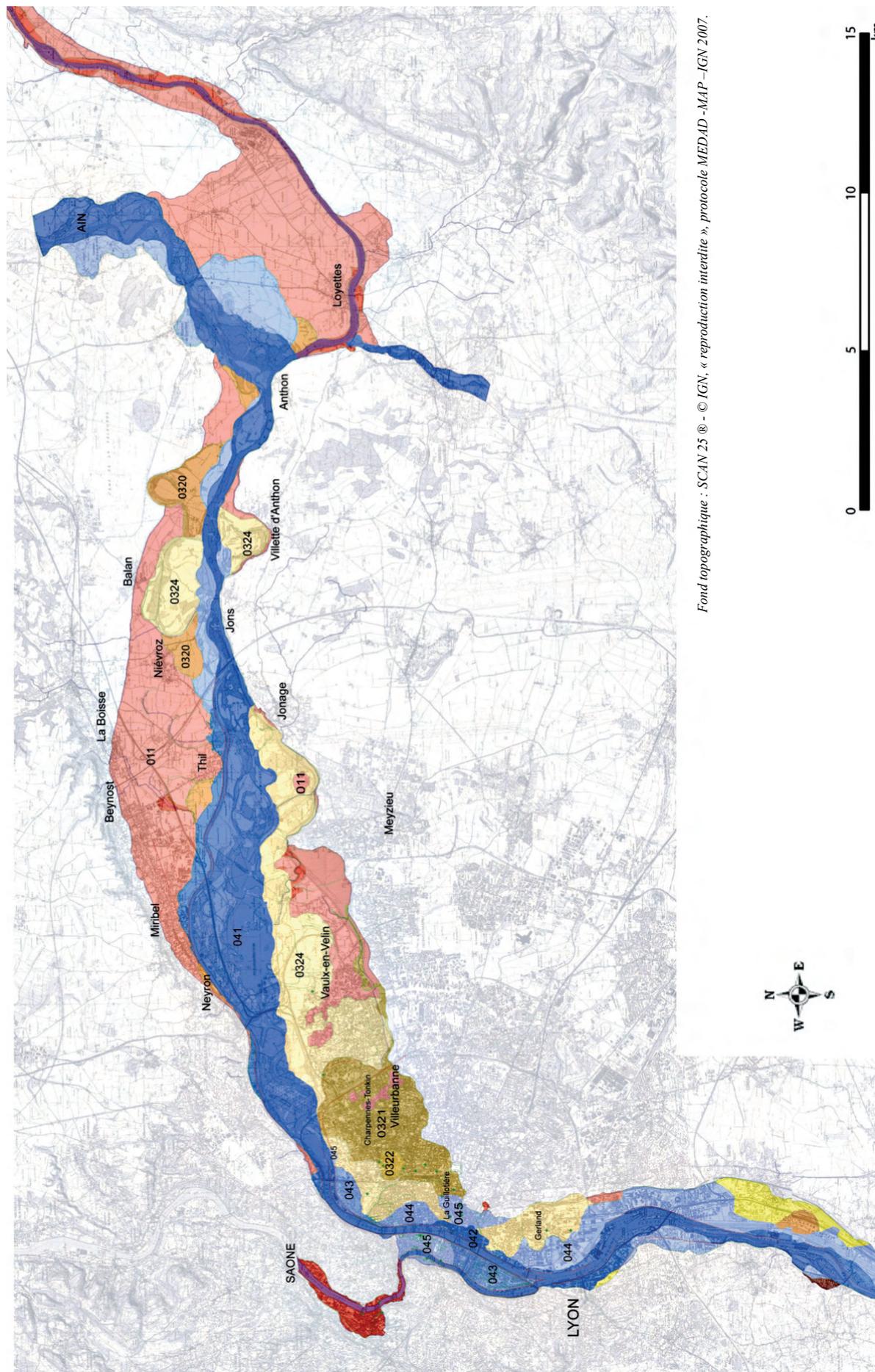


Figure 2 - Les 2 secteurs sélectionnés.

1 - Le secteur lyonnais

Les apports de l'Ain changent radicalement le comportement du Rhône du fait de son abondante charge de fond issue du déstockage des formations quaternaires du Jura et de sa basse vallée et de ses crues violentes qui peuvent atteindre 2400 m³/s, soit autant que le Rhône à Loyettes. Il en résulte que l'Ain imposait au Rhône un comportement en tresses au Petit Âge Glaciaire. Ce tronçon de la plaine alluviale du Rhône associe cinq grands types d'unités qui se juxtaposent dans un ensemble unique à l'échelle du Rhône (Figure 3).

Au centre de la plaine, s'étend la *bande active de tressage du Rhône de l'époque moderne et contemporaine (041)*. Relativement étroite jusqu'à Jons, elle s'élargit progressivement au niveau de Miribel (2500 m) puis se rétrécit pour ne plus faire que 300 m à la traversée de Lyon. Les hauteurs relatives de la crue par rapport à l'étiage sont en proportion de la largeur de la bande active. Elles sont de 5 m à Anthon, 4 m sous Villette-d'Anthon, 3,50 m à Jons et Jonage, 2,50 m à Thil et Beynost ; elles se relèvent logiquement vers l'aval avec 4 m à Neyron et plus de 6 m à l'entrée dans Lyon. Dans le tronçon amont, sous Balan et Niévroz, la bande active a abandonné des surfaces en tresses qui sont perchées de 1 m environ au-dessus de la *bande active fonctionnelle (044)*. En 1848, commencent des travaux qui se terminent en 1857 : il s'agit du canal de Miribel destiné à concentrer les eaux d'étiage pour faciliter la navigation. Volontairement, les digues submersibles qui chenalisent le cours du Rhône n'affectent pas l'inondabilité de la plaine mais les crues commencent à surcreuser la partie amont du canal et à accumuler les sédiments à Vaulx-en-Velin à l'entrée dans Lyon ; le processus est reconnu en 1875 responsable d'une aggravation des inondations à Vaulx. Le « basculement » du canal de Miribel a débuté à cette époque.



Fond topographique : SCAN 25 © - © IGN, « reproduction interdite », protocole MEDAD - MAP - IGN 2007.

Figure 3 - Zoom sur le secteur lyonnais (entre Lyon et le confluent de l'Ain).

Sur la marge de la bande active, se développe une zone inondable plus ancienne façonnée par la migration latérale du fleuve au Moyen Âge (0312). Sous Villette-d'Anthon (rive droite) et Balan (rive gauche), le Rhône a abandonné des méandres qui remontent au moins au XV^e siècle pour les plus éloignés du chenal du XIX^e siècle. La plaine située sous Jonage est également parcourue par un chenal du Rhône plaqué contre la « balme » dauphinoise au XIII^e-XIV^e siècles. On retrouve cette unité à l'Est de Vaulx-en-Velin ; elle a son équivalent en rive droite à l'aval immédiat de Thil. Cette unité, surélevée par les limons de crue, était à une altitude relative d'environ un mètre au-dessus des bancs caillouteux de la bande active du XIX^e siècle ; elle fut inondée sous une faible hauteur d'eau en 1856 ; un secteur localisé à l'aval de Jonage resta même à l'abri des eaux pour cette crue (011). Cette unité est bien identifiée à l'entrée dans Lyon où un paléo-méandre a été daté 915 +/- 25 BP et 790 +/- 35 BP dans le quartier de Charpenne-Tonkin sur la marge d'un banc de convexité daté 860 +/- 150 BP. Un chenal médiéval se retrouve dans le quartier de Gerland ; son remplissage est daté 1580 ± 45 BP pour la date la plus ancienne (0324). Une métamorphose fluviale a donc été réalisée à la fin du Moyen Âge, sans doute au moment où débute le Petit Âge Glaciaire. Elle a été provoquée par des facteurs hydroclimatiques qui ont fortement accru le transport des sédiments grossiers ; les matériaux proviennent de l'Ain et de l'érosion latérale exercée au détriment de la bande de méandres médiévaux.

A Lyon, en rive gauche du Rhône, le secteur de la Guillotière est un ancien secteur de tresses fluviales daté de manière assez homogène sur les remplissages de trois bras (3 975 +/- 65, 3 600 +/- 60 BP et 3 590 +/- 80 BP) que l'on peut considérer comme contemporains (unité 045). C'est la stabilité de ce secteur (inondable) depuis sa formation qui a assuré la continuité de la traversée du Rhône dans Lyon. Une unité de même âge vient d'être découverte au nord de Villeurbanne.

Entre cette bande et la suivante, qui n'est pas inondable ou l'est faiblement (Villeurbanne), se tient un niveau intermédiaire, faiblement inondé car perché de 1 à 2 m au-dessus de la bande active. Il s'agit d'une très basse terrasse datée aux alentours de 6 000 - 5 000 BP à Balan, Villeurbanne et Lyon (0321) ; on l'a confondue avec la surface plus ancienne à l'est de Villeurbanne.

Sur les marges nord et sud de la plaine, des surfaces étendues n'ont pas été inondées en 1856, probablement parce que le fleuve a incisé son lit depuis la construction de ces espaces. Ils ont été formés par dépôt des alluvions caillouteuses du Rhône et par la migration du chenal pendant la première moitié de l'Holocène. Les formations sont les plus anciennes aux marges de la plaine alluviale : elles sont datées du Préboréal à La Boisse et Meyzieu (011), Villeurbanne (0321).

2 - Le secteur aval, d'Avignon à la mer

Le secteur aval (Figure 4) est caractérisé par les apports, abondants et grossiers, des affluents méditerranéens. On distingue 3 secteurs caractéristiques, qui conditionnent la mise en eau par les crues dans la plaine d'inondation.

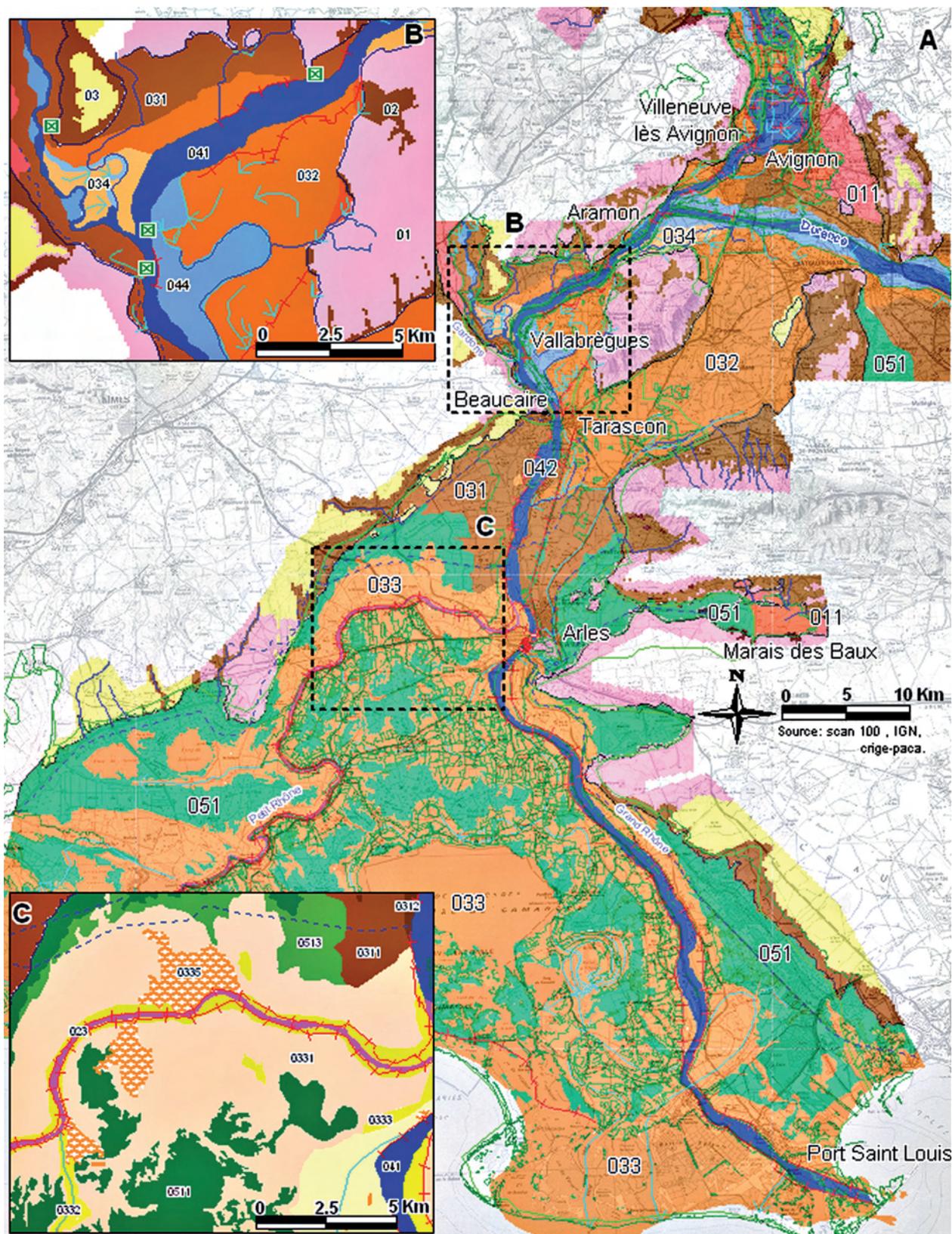
D'Avignon à Beaucaire-Tarascon. Les défilés de Villeneuve-lès-Avignon/Avignon et Beaucaire/Tarascon constituent des points fixes pour l'écoulement. Ils induisent un resserrement du chenal, qui s'approfondit, avec un renforcement de la pente longitudinale. Dans la plaine d'Aramon-Boulbon, les apports caillouteux de la Durance et du Gardon correspondent à des zones de confluence majeures (034), très mobiles, à chenaux divagants (L GEOM), qui ont déporté le Rhône vers la rive opposée. Sur le fleuve, la pente longitudinale affaiblie et le barrage naturel formé par le défilé en aval ont favorisé deux types de fonctionnement, en fonction de l'abondance des apports sédimentaires :

- soit le méandrage du lit mineur avec tendance à l'exhaussement (022), associé à une zone d'aggradation nette en rive droite (031), ou à une zone de migration du chenal en rive droite. (032). Les paléo-méandres abandonnent des formes fluviales (paléo-chenaux, levées alluviales), qui conditionnent la mise en eau par les crues. Ce fonctionnement est encore attesté à la fin de l'époque médiévale ;
- soit le développement d'une bande active de tressage (04), attesté entre la fin du XVIII^e siècle et 1860. Une partie de cette dernière est abandonnée par migration avant 1860 (044) ou réduite par les premiers endiguements à la confluence avec la Durance (042). En 1860, la bande active du Rhône (041) est délimitée par des digues dans les secteurs à enjeux.

Dans la basse vallée du Gardon, la crue de référence (2002) a affecté une partie des terrasses encaissantes (S-ENCA).

De Beaucaire-Tarascon à la diffluence deltaïque.

La contrainte structurale s'efface à l'aval du défilé de Beaucaire, l'encaissant s'écarte du chenal, amorçant le grand triangle deltaïque. L'affaiblissement progressif du profil en long (0,03 %) et la diffluence aval réduisent l'hydro-dynamisme et favorisent l'accumulation sédimentaire. Le chenal recoupe localement les nappes caillouteuses pléistocènes, qui plongent vers le sud et déterminent la position durable des principaux seuils. L'exhaussement de la bande active de tressage au cours du Petit Âge Glaciaire (Pichard, 1999) construit une topographie « en toit » qui domine la plaine d'inondation de plusieurs mètres. Sa mobilité (042) est réduite



Fond topographique : SCAN 25 ® - © IGN, « reproduction interdite », protocole MEDAD -MAP -IGN 2007.

Figure 4 - Zoom sur le secteur aval (entre Avignon et la mer).

par les premiers endiguements et par le bourrelet de berge limoneux édifié par les crues. Les brèches ouvertes lors des crues de 1840 et 1856 justifient le confortement définitif des digues après 1856. A l'amont en rive gauche, la plaine présente les traces de divagations anciennes du chenal (032), amplifiées par les apports des Durançoles (Bruneton, 1999). Ailleurs, la plaine moderne, achevée au cours du Petit Age Glaciaire, comprend un bourrelet alluvial large et haut (0312) et une plaine d'inondation (0311) en « gouttière », où les inondations se propagent de plus en plus loin et où le ressuyage naturel est très long. La crue de 2003 atteint une position extrême, à l'extrémité orientale du Marais des Baux (unité 012). Latéralement, les apports alluviaux recouvrent progressivement les marais à sédimentation organo-minérale (0512, passant à 0513).

Le delta, de la diffuence aux embouchures. Le delta correspond au champ d'inondation du Rhône, comme en témoignent les limites de la crue de 1856. L'affaiblissement de la pente de la plaine (< 0,001 %) explique son fonctionnement particulier, caractérisé par l'accumulation sédimentaire, l'affinement granulométrique (disparition des galets), la mobilité latérale des bras fluviaux, la contrainte du niveau de base, à mesure de la remontée marine holocène, qui contrarie actuellement la sortie des eaux et les possibilités de ressuyage des sols.

La localisation du Grand Rhône actuel date de 1712. En 1860, son chenal présente un tressage à bancs sableux mobiles (041), aboutissant à une embouchure en propagation rapide (80 m/an ; Maillet, 2005). Le Petit Rhône est caractérisé par un chenal unique à méandres en exhaussement (023). La plaine deltaïque est organisée en « casiers », limités par les levées alluviales des anciens bras et les cordons littoraux hérités, où la propagation des inondations est complexe. La plaine d'inondation par exhaussement (0331) et les étangs temporaires ou permanents (0334) sont les plus sensibles aux inondations. Le ressuyage s'y heurte à la présence de nappes permanentes, salées ou saumâtres. Les paléo-chenaux (0332), les cordons littoraux et les bourrelets alluviaux (0333), les deltas de rupture de levée (0335), associés aux brèches dans les bourrelets alluviaux (Arnaud-Fassetta, 2007), les zones de divagation (0336) forment les points hauts (+ 1 à 3 m), mieux drainés, recelant des lentilles d'eau douces. Ils portent les habitats et des cultures. L'inondabilité y est contrainte par une topographie de détail très complexe, où les différences d'altitudes restent inférieures à 1 m.

La montée séculaire du niveau marin et les surcotes, plus fréquentes et plus hautes au cours du XX^e siècle (Suanez *et al.*, 1997 ; Ullmann *et al.*, 2007), constituent une entrave importante au bon écoulement des eaux de crues, aggravant le risque d'inondation à proximité des embouchures.

IV - DISCUSSION : LES APPLICATIONS POTENTIELLES DE L'ATLAS DU PALÉO-ENVIRONNEMENT

Cet atlas du paléo-environnement holocène de la plaine alluviale du Rhône a été conçu dans le but premier de contribuer à la connaissance des inondations du Rhône. L'atlas doit être un véritable « outil de référence » à la disposition de tous les acteurs publics ou privés. Classiquement les atlas des zones inondables présentent une information sur les zones inondables, par les plus grandes crues, et sur les conditions probables de l'inondation (éléments structurant du lit majeur). Elle est élaborée par analyse de photographies aériennes, travail de terrain, recherche de documents d'archives mais ne nécessite pas de modélisations mathématiques. Dans le cas du Rhône, compte tenu des connaissances disponibles, de l'importance des enjeux et de la complexité de la démarche engagée, il a semblé justifié à la DIREN de bassin d'élargir la démarche pour élaborer des « cartes informatives sur le risque inondation », à l'image de ce que propose la

future directive européenne sur la gestion des risques liés aux inondations et de ce qui a été fait sur plusieurs grands fleuves européens.

La sensibilité différenciée de ces unités spatiales à l'inondation, en termes de hauteur d'eau, de localisation préférentielle et de vitesse des courants est sans doute porteuse d'implications dans le domaine sociétal. De prochains travaux vont explorer cette voie prometteuse.

Enfin, les planches de cet atlas proposent une vision nouvelle de l'espace rhodanien. L'assemblage spatial des unités du lit et de la plaine met en évidence des tronçons homogènes qui sont des « secteurs fonctionnels » au sens hydromorphologique et écologique (Roux *et al.*, 1982). Il est fort probable que le fonctionnement passé a été structuré par ces assemblages d'unités et que le fonctionnement actuel des nappes souterraines garde la mémoire de ces héritages.

Remerciements

Cet atlas a été réalisé sous la maîtrise d'ouvrage de la DIREN Rhône-Alpes (Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée) et a bénéficié de l'assistance à maîtrise d'ouvrage du CETE Méditerranée. Les auteurs remercient Madame Geneviève Golaszewski (DIREN) et Monsieur Christophe Esposito (CETE-Méditerranée) de leur soutien et de leur collaboration constructive. La coordination a été assurée par la Zone Atelier Bassin du Rhône.

Les chercheurs suivants ont apporté une collaboration à cet atlas : Claire Combe (UMR 5600), Jean-François Berger (CNRS-CEPAM, Sophia-Antipolis), Jacques-Léopold Brochier (Centre d'Archéologie protohistorique de Valence), Odile Franc (Institut National de Recherche en Archéologie Préventive, Lyon), Bernard Gauthiez (Université Jean-Moulin-Lyon 3), Hélène Bruneton (Université Aix-Marseille 1), Judith Volcot (professeure certifiée, Paris).

BIBLIOGRAPHIE

- ARNAUD F., REVEL M., CHAPRON E., DESMET M., TRIBOVILLARD N., 2005 : 7200 years of Rhone river flooding activity in Lake Le Bourget: A high-resolution sediment record of NW Alps hydrology. *The Holocene*, 15, 3, 420-428.
- ARNAUD-FASSETTA G., 1998 : Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône. Thèse de géographie physique, Université de Provence (Aix-Marseille 1). Presses Universitaires du Septentrion, Lille, 329 p.
- ARNAUD-FASSETTA G., 2004. 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*, 86, 4, 367-383.
- ARNAUD-FASSETTA G., 2007 : L'hydrogéomorphologie fluviale, des hauts bassins montagnards aux plaines côtières : entre géographie des risques, géoarchéologie et géosciences. Dossier d'habilitation à diriger des recherches (HDR), université Paris-Diderot (Paris 7), volume 2 : synthèse scientifique.
- 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., BRUNETON H., BERGER J.-F., BEAUDOUIN C., BOËS X., PROVANSAL M., 2005. A ~8000-yr record of palaeohydrology and environmental change in fluvial-influenced sediments from the urban Arles-Piton core, upper Rhône Delta, France. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 49, 4, 455-484.
- BALLAIS J.-L., 2006 : La cartographie hydrogéomorphologique. *Bulletin de l'association des géographes français*, 4, 461-468.
- BRAVARD J.-P., 1986 : Le Haut Rhône, du Léman à Lyon. Lyon, La Manufacture.
- BRAVARD J.-P., 1995 : Géoarchéologie des vallées de Rhône-Alpes depuis le Tardiglaciaire. In Bravard J.-P. & Prestreau M. (éd.) : Dynamique du paysage - Entretiens de géoarchéologie, *Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes*, 15, 129-150.
- BRAVARD J.-P., 1997 : Tectonique et dynamique fluviale du Würm à l'Holocène à la confluence Saône-Rhône (France). *Géographie Physique et Quaternaire*, 51, 3, 315-326.
- BRAVARD J.-P., 2004 : Le risque d'inondation dans le bassin du haut Rhône : Quelques concepts revisités dans une perspective géohistorique. In Burnouf J., Leveau P. (dir.), Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture, (Archéologie et histoire de l'art, 19), Paris, Éditions du CTHS, 397-408.
- BRAVARD J.-P., MAGNY M., 2002 : Les Fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans. Paris, Editions Errance. Magny
- BRAVARD J.-P., VÉROT-BOURÉLY A., FRANC O., avec la coll. de ARLAUD C., 1997. Paléodynamique du site fluvial de Lyon depuis le Tardiglaciaire. Service Régional de L'Archéologie de Rhône-Alpes, *Document d'Archéologie en Rhône-Alpes*, 15, 177-201.
- BRAVARD J.-P., PROVANSAL M., ARNAUD-FASSETTA G., CHABBERT S., GAYDOU P., DUFOUR S., RICHARD F., VALLETEAU S. MELUN G., PASSY P., 2007. Cartographie du paléoenvironnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière suisse à la mer. Rapport pour la DIREN Rhône-Alpes, 63 pages et atlas au 1/25 000e et au 1/100 000e
- BRUNETON H., 1999. Evolution holocène d'un hydrosystème nord-méditerranéen et de son environnement géomorphologique, les plaines d'Arles, Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille I.
- BRUNETON H., ARNAUD-FASSETTA G., PROVANSAL M., SISTACH D., 2001. Geomorphological evidences for fluvial change during the Roman period in the lower Rhône valley (southern France). *Catena*, 45, 287-312.
- CHAVE S., BALLAIS J.-L., 2006. From hydrogeomorphology to hydraulics computations : a multidisciplinary approach of the flood hazard diagnosis in the Mediterranean zone. *Z. Geomorph. N. F., Berlin-Stuttgart*, 523-540.
- MAILLET G., 2005. Relations sédimentaires récentes et actuelles entre un fleuve et son delta en milieu microtidal : Exemple de l'embouchure du Rhône. Thèse de doctorat, Université de Provence, Aix-Marseille I.
- MANDIER P., 1984. Signification dynamique et climatique des formations et terrasses fluviales quaternaires dans les Alpes et leur périphérie. Rapport. Bull. A.F.E.Q., 1/2/3, 113-118.
- MANDIER P., 1984. Le relief de la moyenne vallée du Rhône au Tertiaire et au Quaternaire, Orléans, éd. BRGM, Doc. 151, 3t.
- MASSON M., GARRY G., BALLAIS J.-L., 1996. Cartographie des zones inondables, approche hydrogéomorphologique. Les Editions Villes et Territoires, Paris La Défense.
- PICHARD G., 1999. Espaces et Nature en Provence. L'environnement rural, 1540, 1789. Thèse de doctorat, Université de Provence (Aix-Marseille 1).
- PROVANSAL M., BERGER J.-F., BRAVARD J.-P., SALVADOR P.-G., ARNAUD-FASSETTA G., BRUNETON H., VÉROT-BOURÉLY A., 1999. Le régime du Rhône dans l'Antiquité et au Haut Moyen Âge. *Gallia*, 56, 13-32.

- PROVANSAL M., VELLA C., ARNAUD-FASSETTA G., SABATIER F., MAILLET G., 2003. Role of the fluvial sediment input in the mobility of the Rhône delta coast, (France), *Géomorphologie, relief, environnement*, 4, 271-282.
- ROUX A.-L., 1982. Cartographie polythématique appliquée à la gestion des eaux. Lyon, CNRS Editions.
- SALVADOR P.-G., 1991. Le the de la métamorphose fluviale dans les plaines alluviales du Rhône et de l'Isère - Bassin de Malville et ombilic de Moirans - Bas Dauphiné. Thèse de géographie physique, université Jean Moulin (Lyon 3).
- SALVADOR P.G., 1999. L'édification holocène de la plaine alluviale du Rhône dans le bassin de Malville-St-Brenaz (Ain, Isère). *Géomorphologie*, 1, 3-22.
- SALVADOR P.-G., BERGER J.-F., GAUTHIER E., VANNIÈRE B., 2004. Holocene fluctuations of the Rhône river in the alluvial plain of the Basses Terres (Isère, Ain, France). *Quaternaire*, 15, (1-2), 177-186.
- SALVADOR P.-G., BERGER J.-F., FONTUGNE M., GAUTHIER E., 2005. Etude des enregistrements sédimentaires des paléoméandres du Rhône dans le secteur des Basses Terres (Ain, Isère, France). *Quaternaire*, 16, (4), 315-327.
- SALVADOR P.-G., VÉROT-BOURRÉLY A., BRAVARD J.-P., FRANC O., MACÉ S., 2002. Les crues du Rhône à l'époque gallo-romaine dans la région lyonnaise, in Les fleuves ont une histoire, paléoenvironnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans, sous la dir. de J.-P. Bravard et M. Magny, éd. Errance, 215-222.
- SCHUMM S.A., 1977. The Fluvial System. Wiley, New-York.
- SUANEZ S., PROSPER-LAGET V., PROVANSAL M., 1997. Variations relatives du niveau marin dans le delta du Rhône et à Marseille. Implications climatiques et/ou tectoniques. *CR Acad. Sci.*, II a, 324, 639-646.
- TELES V., BRAVARD J.-P., MARSILY G. (DE), PERRIER E., 2001. Modelling of the construction of the Rhône alluvial plain since 15,000 years BP. *Sedimentology*, 48, 1209-1224.
- ULLMANN A., PIRAZZOLI P.A., TOMASIN A., 2007. Sea surges in Camargue : trend over the XXth century. *Continental Shelf Research*, 27, 922-934.
- VELLA C., 1999. Perception et évaluation de la mobilité du littoral holocène sur la marge orientale du delta du Rhône. Thèse de géographie physique, université de Provence (Aix-Marseille 1).
- VELLA C., PROVANSAL M., 2000. Relative sea-level rise and neotectonics events during the last 6500 years on the southern eastern Rhône delta, France. *Marine Geology*, 170, 27-39.
- VELLA C., FLEURY T.-J., RACCASI G., PROVANSAL M., SABATIER F., BOURCIER M., 2005. Evolution of the Rhône delta plain in the Holocene. *Marine Geology*, 222-223, 235-265.