

Cartographie sectorielle et dynamique de la plaine alluviale du Rhône suisse (Tourtemagne-Sierre) depuis la fin du Petit Age Glaciaire

Laetitia Laigre ¹
Gilles Arnaud-Fassetta ²
Emmanuel Reynard ¹

¹ Institut de géographie
Université de Lausanne
Anthropole
CH - 1015 Lausanne

E-mails:
laetitia.laigre@unil.ch
emmanuel.reynard@unil.ch

² Université Paris-Est-Créteil-Val-de-Marne
(Paris 12)
CNRS UMR 8591 LGP Meudon
F-94010 Créteil

E-mail:
gilles.arnaud-fassetta@u-pec.fr

In Lambiel C., Reynard E. et Scapoza C. (Eds) (2011). *La géomorphologie alpine: entre patrimoine et contrainte. Actes du colloque de la Société Suisse de Géomorphologie*, 3-5 septembre 2009, Olivone (Géovisions n° 36). Institut de géographie, Université de Lausanne.

Résumé

Comme la plupart des cours d'eau européens, le Rhône suisse a connu d'importants changements morphologiques depuis la fin du Petit Age Glaciaire (1350-1850). La cartographie paléoenvironnementale réalisée par l'équipe de Jean-Paul Bravard en 2007 sur le Rhône français (Bravard et al., 2007; 2008) a été adaptée au Rhône alpestre. La comparaison de cartes du secteur de Tourtemagne à Sierre, levées entre 1835 et 2001, a permis de déterminer les tronçons ayant subi une métamorphose fluviale, c'est-à-dire une modification morphologique durable du chenal et du style fluvial. Deux facteurs de contrôle majeurs ont été mis en avant : le facteur naturel, matérialisé par la modification des apports sédimentaires, et, surtout, le facteur anthropique. Les politiques de correction du fleuve engagées suite aux crues survenues entre 1835 et 1860 ont abouti à la disparition des zones de méandrage et modifié la morphologie des bandes actives de tressage. La réduction des vastes surfaces marécageuses qui caractérisaient certains secteurs de la plaine jusqu'en 1860 a favorisé l'expansion de l'habitat à proximité voire à l'intérieur des paléochenaux du Rhône. Au-delà donc des connaissances générales qu'elle apporte, cette cartographie dynamique du Rhône et des environnements fluviaux est un outil important d'aide à la réflexion sur l'utilisation de l'espace et la gestion des événements hydrologiques majeurs en Valais.

1. Introduction

La nature capricieuse du Rhône suisse, au régime nivo-glaciaire, a rythmé la vie des Valaisans de l'Antiquité au XX^e siècle (Reclus, 1877; De Torrenté, 1964; Bender, 1996). La succession d'événements hydroclimatiques majeurs ayant entraîné des crues et débordements a modifié la morphologie du chenal, et, plus largement, de la plaine alluviale. Celle-ci a gardé les traces de paléo-formes fluviales qui ont été déconnectées du chenal actuel par métamorphose (Bravard, 2000).

Si l'histoire de la déglaciation et du détritisme dans certains des sous-bassins versants connexes de la vallée du Rhône est relativement bien connue depuis la fin du Tardiglaciaire (Schoeneich et al., 1998), la dynamique hydrosédimentaire de la vallée elle-même l'est en revanche beaucoup moins (Reynard et al., 2009). Les connaissances disponibles se résument aux cinquante dernières années et sont essentiellement liées à la dynamique actuelle du lit endigué (Canton du Valais, 2008). Pourtant, la connaissance de la dynamique fluviale passée est un élément indispensable à la compréhension de l'évolution récente mais aussi, et surtout, pour l'anticipation et la prévision de la dynamique fluviale future.

Cet article, qui découle d'un mémoire de Master 2 (Laigre, 2009) caractérise 1) la dynamique morpho-hydrosédimentaire du Rhône depuis la fin du Petit Age Glaciaire (vers 1860), et 2) met en avant les facteurs de contrôle des métamorphoses déduites de l'analyse cartographique à haute résolution (1/25 000^e) du secteur situé entre Tourtemagne et Sierre. Les résultats d'autres secteurs de la plaine ont été publiés ailleurs (Laigre et al., 2009; Reynard et al., 2009). Une cartographie paléoenvironnementale du Rhône alpestre a été réalisée depuis 1840 en utilisant la légende déve-

loppée par Jean-Paul Bravard sur le Rhône français (Bravard et al., 2008). L'intérêt des résultats obtenus est de contribuer à une meilleure compréhension et à la gestion des zones inondables en cas de crue.

1.1 Le site d'étude

Le secteur étudié est situé dans le Canton du Valais (Fig. 1). Dans cette partie de la vallée, le Rhône s'écoule dans une plaine alluviale assez large (entre 900 m et 1 km), à pente forte (0,0038 m/m de moyenne). Elle est dominée par des versants abrupts constitués au nord des nappes de charriage calcaires et marneuses du Massif de l'Aar externe (domaine Helvétique) et au sud des nappes de quartzites, calcaires et dolomies de la Nappe des Pontis (domaine Pennique). Avec la plaine de Gletsch, c'est aujourd'hui le seul secteur où l'évolution du Rhône est semi-naturelle et où il présente un lit en tresses. Ce secteur figure d'ailleurs dans l'inventaire fédéral des zones alluviales d'importance nationale, comme étant l'un des derniers secteurs de Suisse à tressage actifs de grande extension. En rive gauche se trouve le vaste cône de l'Illgraben, formé par le torrent de l'Illbach, et qui contraint l'écoulement du Rhône en rive droite. Des laves torrentielles se produisent régulièrement dans le chenal de ce torrent et alimentent le Rhône en charge solide par sa rive gauche (Stoffel et al., 2008; Schlunegger et al., 2009). La largeur de la bande active varie entre 100 et 200 m. Celle-ci est marquée par la présence de bancs, dont la géographie varie saisonnièrement en fonction de la fréquence, de l'intensité des laves torrentielles provenant de l'Illbach (qui augmentent localement la taille des galets dans le lit du Rhône ($D_{90} = 1,07$ m; Montané et al., 2009) et des extractions de granulats effectuées dans le lit du Rhône. Deux autres affluents majeurs de rive droite viennent se jeter dans le Rhône : la Dala et la Raspille.

Par ailleurs, des dépôts apparaissent sous forme de collines à l'aval du cône de l'Illgraben. Ils sont la résultante d'un éboulement majeur d'environ 2 km³, dont la niche d'arrachement serait située en rive droite du Rhône (Burri, 1997). Cet éboulement a entraîné la formation d'un « seuil » principal au niveau du lit du Rhône, qui a ensuite été amplifié lors de la mise en place du cône de déjection de l'Illgraben.

La cartographie des chenaux a mis en évidence des modifications morphologiques majeures dans ce secteur entre 1840 et 1999.

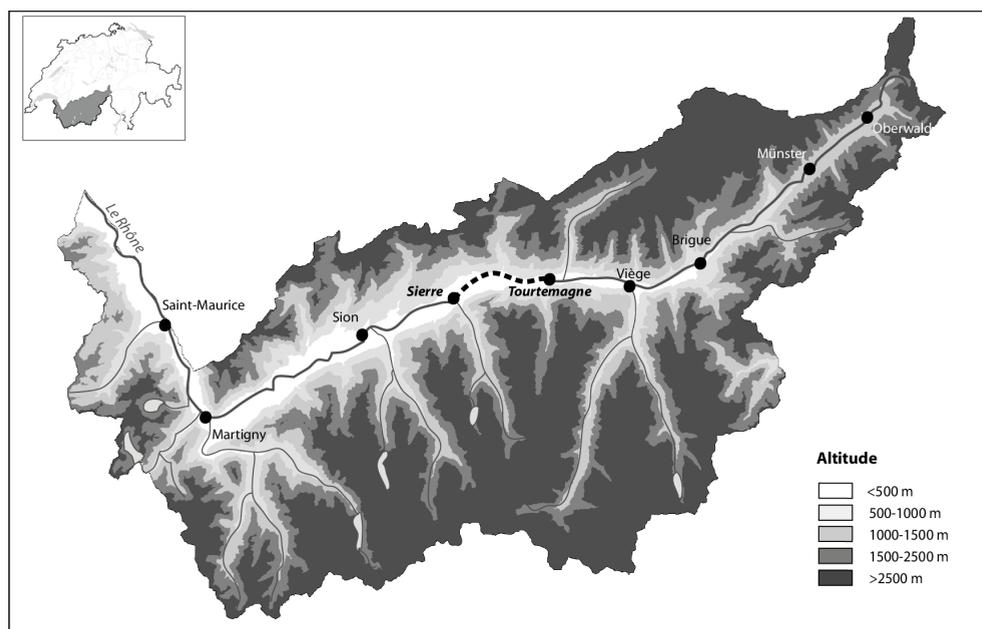


Fig. 1 : Localisation du site d'étude.

2. Méthodologie

2.1. L'analyse diachronique

La cartographie paléoenvironnementale a été effectuée à partir de documents cartographiques, des cartes Dufour aux cartes nationales actuelles (Fig. 2), qui ont permis de suivre finement (pas-de-temps pluri-annuel) l'évolution du style fluvial (pour une description des caractéristiques de ces cartes, voir Lechevallier, 2005; Stäubli et al., 2008). Six dates d'édition de cartes à intervalle de temps relativement régulier (20 à 50 ans) ont été comparées : 1841, 1860, 1886, 1933, 1946, 1999 (Tab. 1). Celles-ci correspondent aux dates-clés de l'application des mesures de correction du Rhône engagées à partir de 1860. La carte de 1860 a été retenue d'une part en raison de la crue de référence centennale qui s'est produite en 1860, d'autre part car elle marque le début des différentes corrections qui ont fait suite aux crues majeures survenues entre 1835 et 1860. Une première période de correction du lit a été décidée et appliquée de 1863 à 1894, une seconde de 1930 à 1960, et la dernière, qui a débuté en 2000, doit se prolonger jusque vers 2030 (Vischer, 2003; Pasche, 2004; Canton du Valais, 2008).

Type de carte	Année d'établissement	Echelle
Levé Dufour	1841	1/50 000 ^è
Carte Dufour	1860	1/100 000 ^è
Atlas Siegfried	1886	1/50 000 ^è
Atlas Siegfried	1933	1/50 000 ^è
Carte Nationale	1946	1/25 000 ^è
Carte Nationale	1999	1/25 000 ^è

Tab. 1 : Caractéristiques des cartes utilisées pour la réalisation de la cartographie.

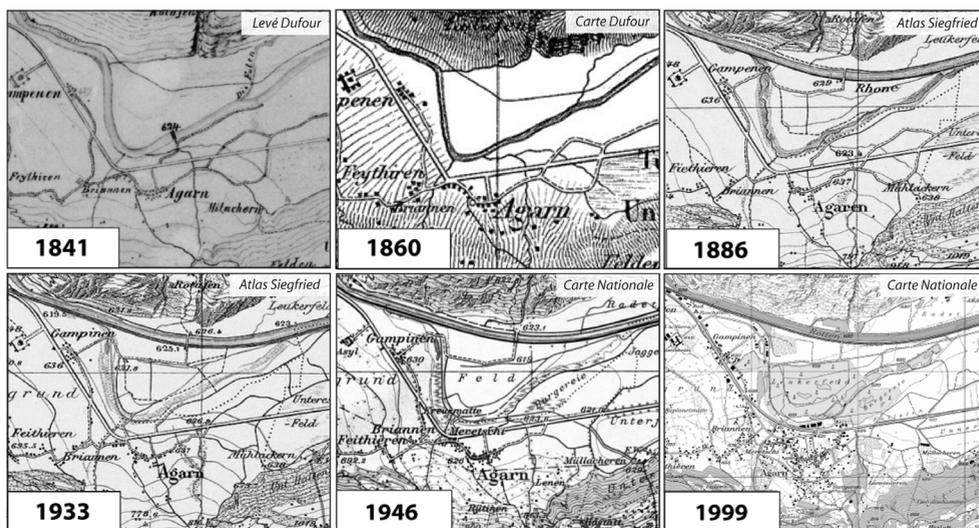


Fig. 2 : Extraits des différents documents cartographiques utilisés pour la réalisation des cartes paléoenvironnementales, caractérisant les modifications morphologiques du Rhône au niveau du village d'Agarn (Valais). Reproduit avec l'autorisation de swisstopo (BA110013).

2.2. La légende de l'atlas paléoenvironnemental

Les cartes réalisées sont basées sur l'Atlas paléoenvironnemental édité en 2007 par l'équipe de Jean-Paul Bravard sur l'ensemble du Rhône français (Bravard et al., 2007). Cette légende hiérarchise les zones inondables de la plaine alluviale, des zones inondées seulement lors de crues majeures (réurrence centennale) à celles qui sont les plus fréquemment touchées. Une description détaillée de cette légende a été faite par Bravard et al. (2008). Elle est divisée en 6 unités majeures, composées de 29 sous-unités et 9 unités de rang inférieur emboîtées dans quatre des sous-unités, soit au total 42 unités élémentaires portant chacune un code (Fig. 3). Dans cette étude, certaines sous-unités ont été ajoutées afin d'établir une hiérarchisation des cônes alluviaux. A l'inverse, d'autres ont été supprimées comme les basses terrasses, très rares en Valais. Ne sont détaillées ici que les unités figurant sur la carte paléoenvironnementale présentée dans cet article.

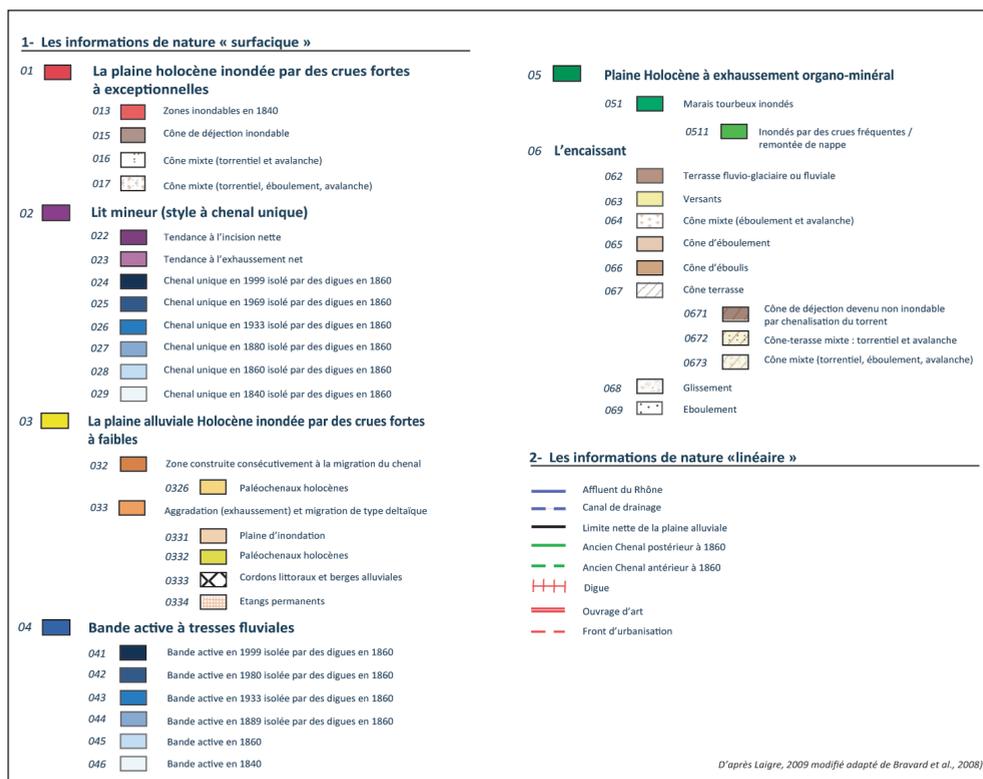


Fig. 3 : Légende utilisée pour la cartographie paléoenvironnementale du Rhône suisse (la figure présente tous les figurés présents sur les différents sites d'études).

- Le lit mineur (style à chenal unique; 02)** : deux des trois tendances d'évolution du profil en long à moyen ou long terme identifiées par Bravard et al. (2008) ont été retenues. La première correspond aux secteurs où « la tendance est à l'incision nette » (022), c'est-à-dire que la hauteur du niveau de base diminue, entraînant une réduction de l'intensité des débordements. La seconde correspond aux lits dont « la tendance est à l'exhaussement net » (023). Cette tendance favorise l'augmentation de la hauteur et l'extension spatiale des inondations.
- La plaine alluviale holocène inondée par des crues fortes à faibles (03)** est localisée en bordure d'un lit mineur unique ou en arrière d'une bande active de tressage. La plaine alluviale est ici une « zone construite consécutivement à la migration du chenal » (032) : cette unité a été isolée par migration du chenal et par le dépôt de la charge de fond dans la convexité des méandres. En raison de l'absence de datation précise, les anciens chenaux identifiés ont été cartographiés comme « paléochenaux holocènes » (0326).
- La bande active à tresses fluviales (04)** correspond à un style à chenaux multiples, à bancs de galets, de graviers ou de sables mobiles et/ou îles stabilisées (boisées). Elle est entièrement inondable pour des débits de crue faibles. Celle-ci ayant

morphologiquement varié au fil du temps, différentes sous-unités ont été établies pour la représenter : « *la bande active en 1841* » (046) identifiée à partir des levés Dufour et correspondant à la bande active à chenaux mobiles et bancs de galets, remobilisés pour les hautes eaux; « *la bande active en 1860* » (045) délimitée à partir des cartes Dufour; « *la bande active de 1886 isolée par des digues à partir de 1860* » (044); « *la bande active en 1933 isolée par des digues à partir de 1860* » (043); « *la bande active en 1946 isolée par des digues à partir de 1860* » (042); « *la bande active en 1999 isolée par des digues à partir de 1860* » (041).

- **L'encaissant** rassemble les formes et unités non-inondables. Les « *versants* » (063) correspondent aux ruptures de pentes identifiées sur les cartes topographiques. L'essentiel des formes issues de la dynamique de versant spécifique au milieu montagnard a été intégré dans la légende générale, mais sur les exemples présentés, seuls les « *cônes-terrasses* » ont été identifiés (067). Ce sont d'anciens cônes de déjection devenus non inondables, par « *chenalisation du torrent* » (0671) et/ou par diminution du niveau de base du chenal rhodanien. Enfin, *les glissements de terrain* (068) et *les éboulements* (069) ont également été figurés.

Cette légende rassemble également des éléments de nature linéaire. La limite de la plaine alluviale, correspondant au recoupement de la limite des alluvions modernes de la carte géologique et des ruptures de pente identifiées sur les cartes topographiques. Les affluents actuels du Rhône, les limites spatiales des digues et les ouvrages d'art tels que les ponts. Les fronts d'urbanisation ont également été reportés afin de prendre en compte l'évolution du tissu urbain dans la plaine.

Enfin, les différentes bandes actives de tressage, les bancs, les zones humides et le réseau hydrographique ont été cartographiés pour chaque période étudiée. Un traitement statistique des caractéristiques de chaque forme a permis d'évaluer des rythmes d'évolution et de transformations morphologiques de la plaine.

3. Résultats et interprétation

Ce secteur est caractérisé par deux morphologies et dynamiques différentes en amont et en aval du cône de l'Illgraben, et fera donc l'objet de deux sous-parties distinctes. Cependant, les deux dynamiques sont figurées sur la même carte paléoenvironnementale (Fig. 4).

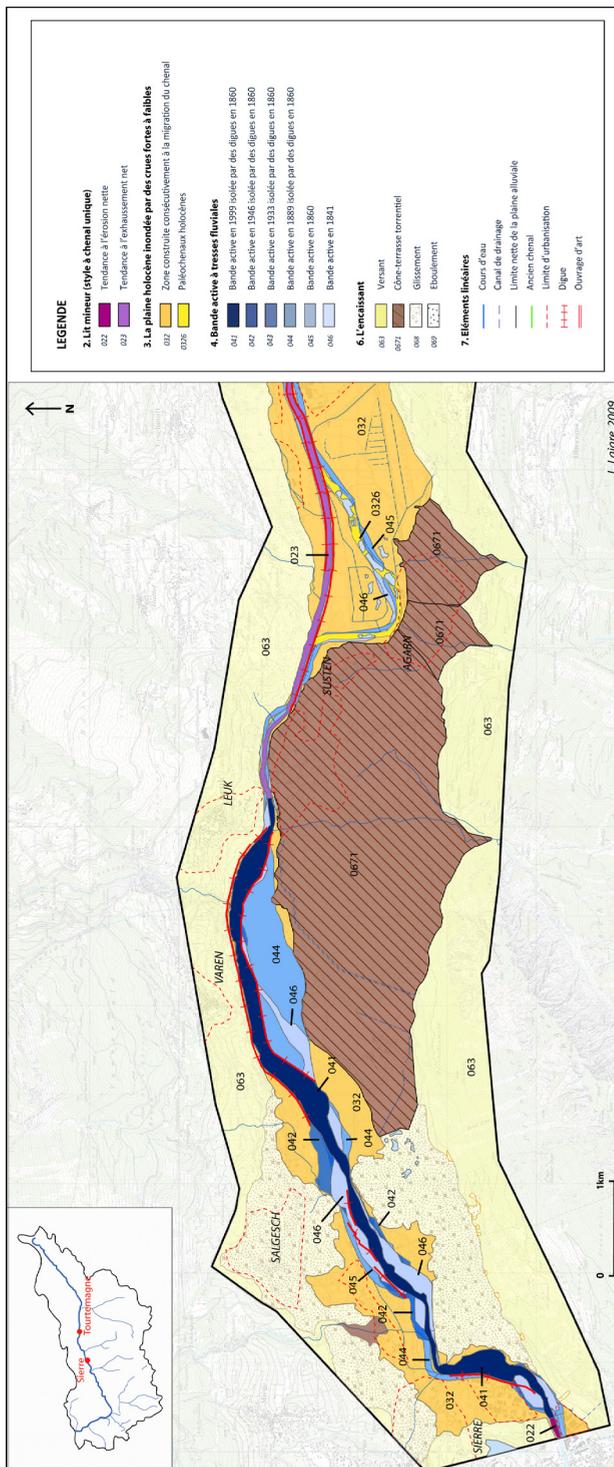
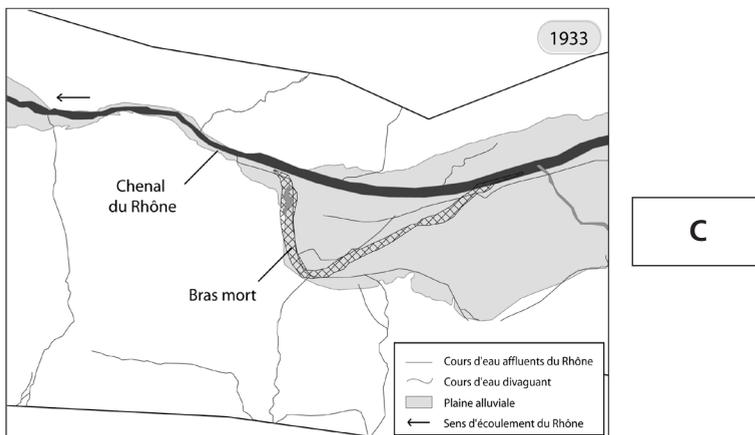
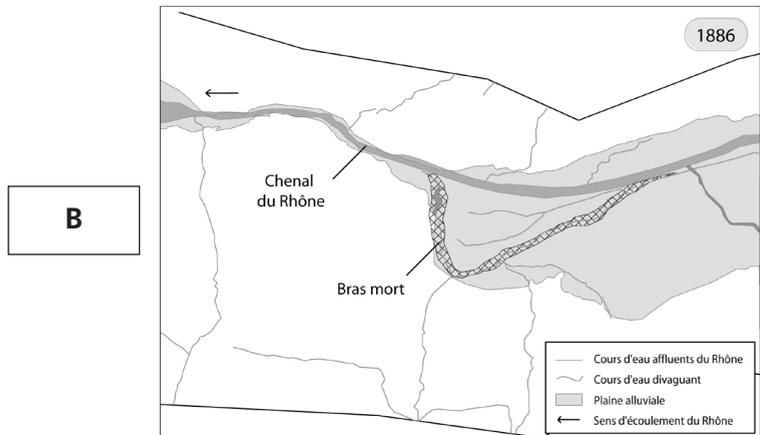
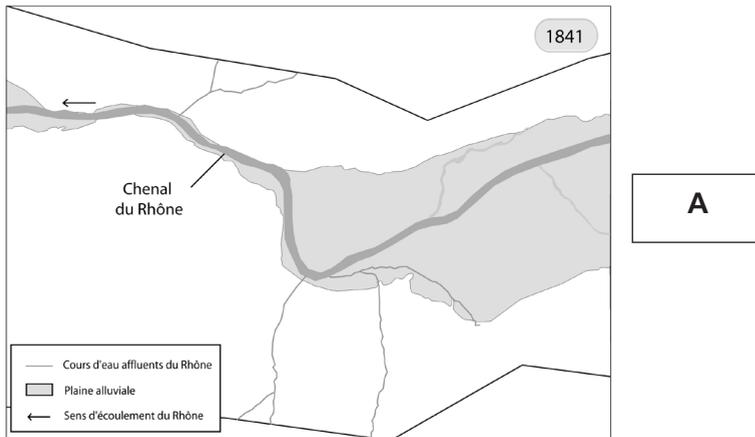


Fig. 4 : Carte paléoenvironnementale du secteur de Tourtemagne à Sierre.



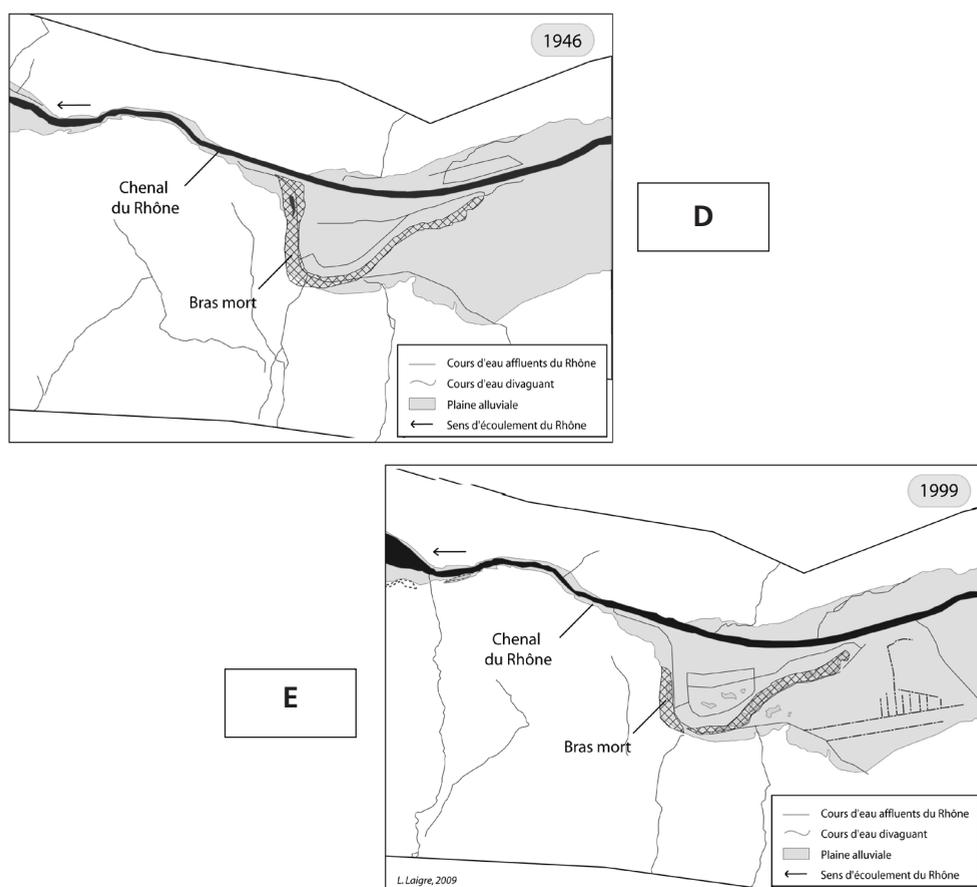


Fig. 5 : Evolution morphologique du paléoméandre d'Agarn entre 1841 et 1999 : déconnexion du méandre par endiguement du Rhône en 1860, puis comblement progressif du bras mort entre 1880 et 1999.

De Tourtemagne à Agarn : le recouplement d'origine anthropique d'un méandre

En amont, le Rhône présentait en 1841 un important méandre fonctionnel au niveau du village d'Agarn (Fig. 5A). Sa longueur d'onde était proche de 2 km, et son amplitude de l'ordre de 850 m (Indice de Sinuosité $Is=2,8$). Ce méandre s'est mis en place très certainement sous la contrainte du cône de l'Illgraben. La formation progressive du cône a favorisé une déviation du tracé, conduisant ainsi à la mise en place forcée d'un méandre. En 1860, ce méandre est toujours actif mais à partir de 1886, il apparaît déconnecté du lit principal (Fig. 5C) qui, lui, est rectiligne, de Tourtemagne jusqu'à la confluence avec le torrent de l'Illbach (Fig. 6, 1886). Il connaît ensuite jusqu'à aujourd'hui une réduction de la largeur de son chenal (Fig. 5E). Cette métamorphose fluviale a une origine anthropique. Le recouplement du méandre a été réalisé dans le cadre de la Première correction du Rhône, qui est née suite aux inondations de 1860 et qui a donné lieu aux mesures d'endiguement (Pasche, 2004). La

rectification du tracé du Rhône devait permettre d'augmenter la vitesse d'écoulement dans les secteurs où elle était plus faible comme les zones de méandrage. Le bras mort s'est ensuite comblé naturellement avec les apports détritiques fournis par les petits cours d'eau et sources l'alimentant ou par réactivation du chenal lors de remontées de la nappe phréatique ou de crues. Dans ce secteur, le lit est en exhaussement (20 à 30 cm entre 1964 et 2001; Canton du Valais, 2008). Le barrage de la Souste (Susten), qui se trouve en amont du cône et a pour mission de réguler l'évacuation de la charge solide lors de l'arrivée de laves torrentielles en rive gauche, bloque le transit naturel et est responsable de l'exhaussement observé. Un golf de plaine a par ailleurs récemment été aménagé sur le site du paléo-méandre.

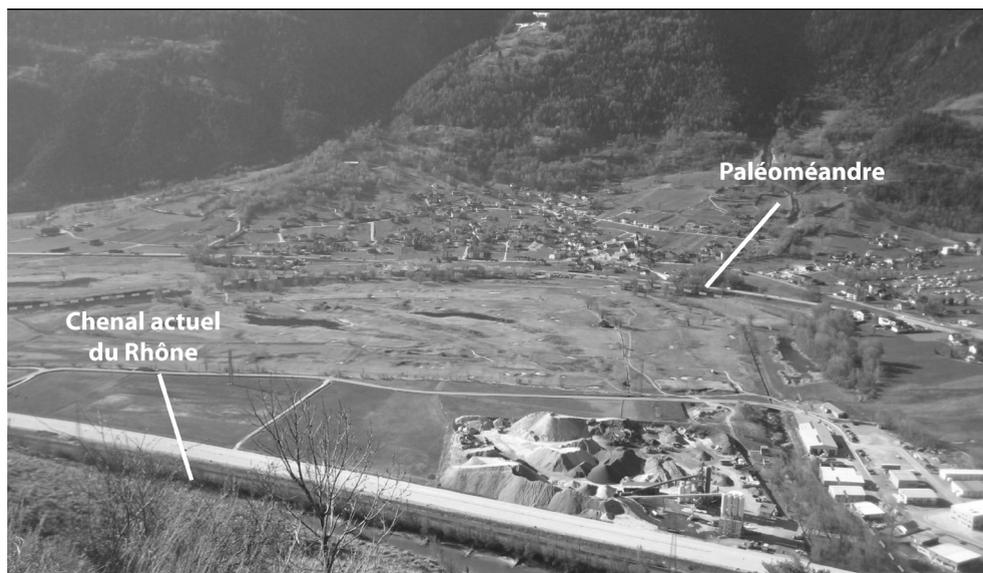
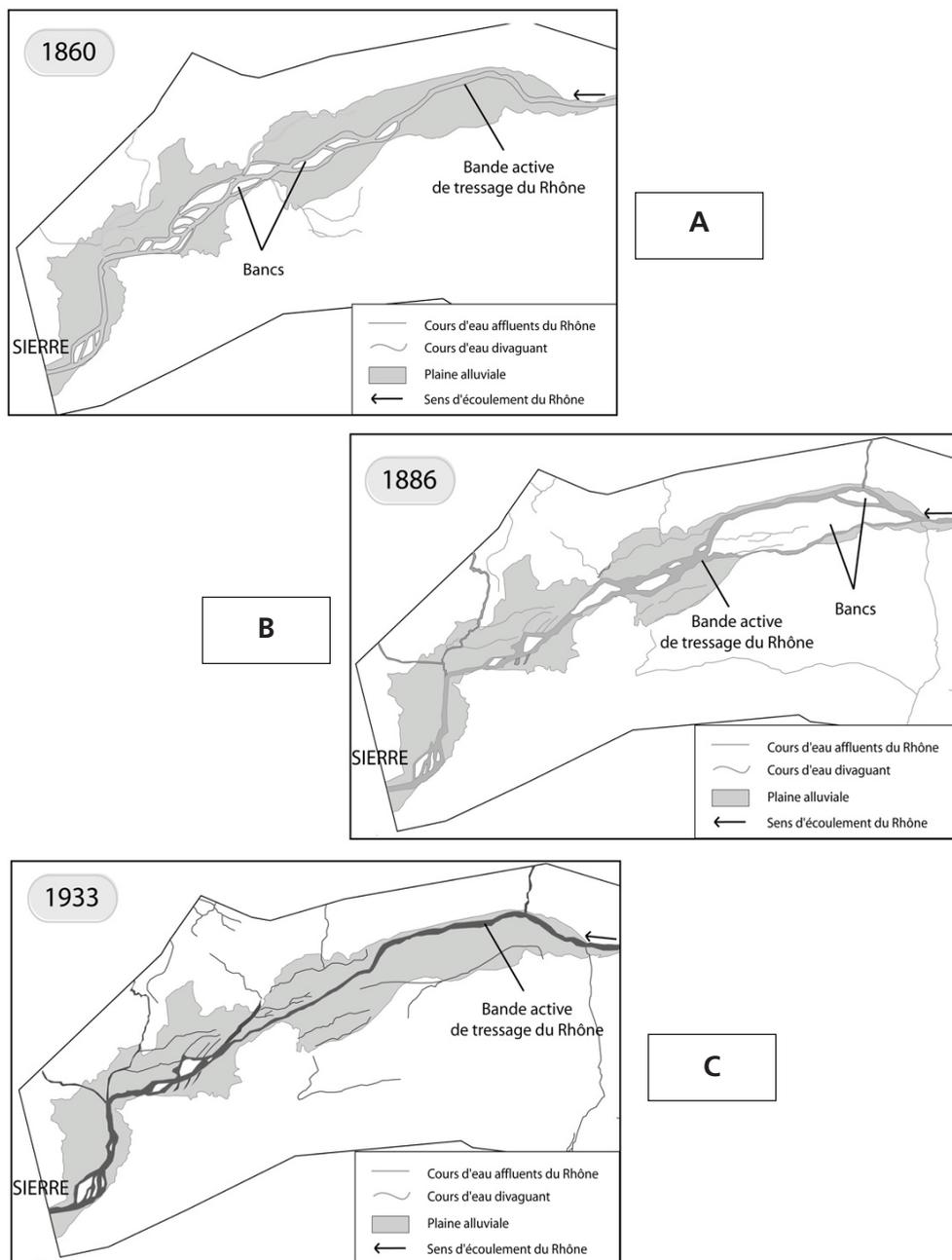


Fig. 6 : Chenal actuel du méandre d'Agarn, en cours de comblement (Cliché : L. Laigre).

D'Agarn à Sierre, une morphologie fluviale sous l'influence des apports latéraux

Dans la partie aval du secteur, le Rhône a connu une dynamique différente. Le cône de l'illgraben a contraint le lit à s'écouler sur la droite de la vallée et a favorisé la mise en place d'un dénivelé important (90 m sur 7 km). L'actuel lit du Rhône occupe une partie seulement de son lit primitif (1841, Fig. 7A), et n'a plus autant de bancs qu'en 1841 ou 1946. En 1841, 15 bancs ont été individualisés; ils ont une surface moyenne d'environ 28'000 m². En 1886, le nombre de bancs est passé de 15 à 12 (Fig. 7B). Un important banc d'une surface de 0,98 km² s'est mis en place dans la partie amont de la zone de tressage. La superficie moyenne totale a diminué, passant de 28'000 m² à 25'000 m². En 1933, seuls 8 bancs sont observables et leur superficie moyenne s'est réduite (13'000 m²) (Fig. 7C). La superficie de la bande de tressage représente seulement 25 % de celle de 1886 (2,07 km² en 1886 contre 0,53 km² en 1933). En 1946, la bande active s'est élargie mais uniquement dans la partie aval de la zone de tressage, passant d'environ 100 m à 500 m de largeur dans les secteurs les plus larges.

Le nombre de bancs passe de 8 à 44, mais leur superficie moyenne connaît une tendance inverse, elle atteint environ 8'000 m² (contre 13'000 m² 13 ans plus tôt) (Fig. 8). En 1996, 23 bancs sont dénombrés et leur superficie moyenne est de l'ordre de 11'000 m².



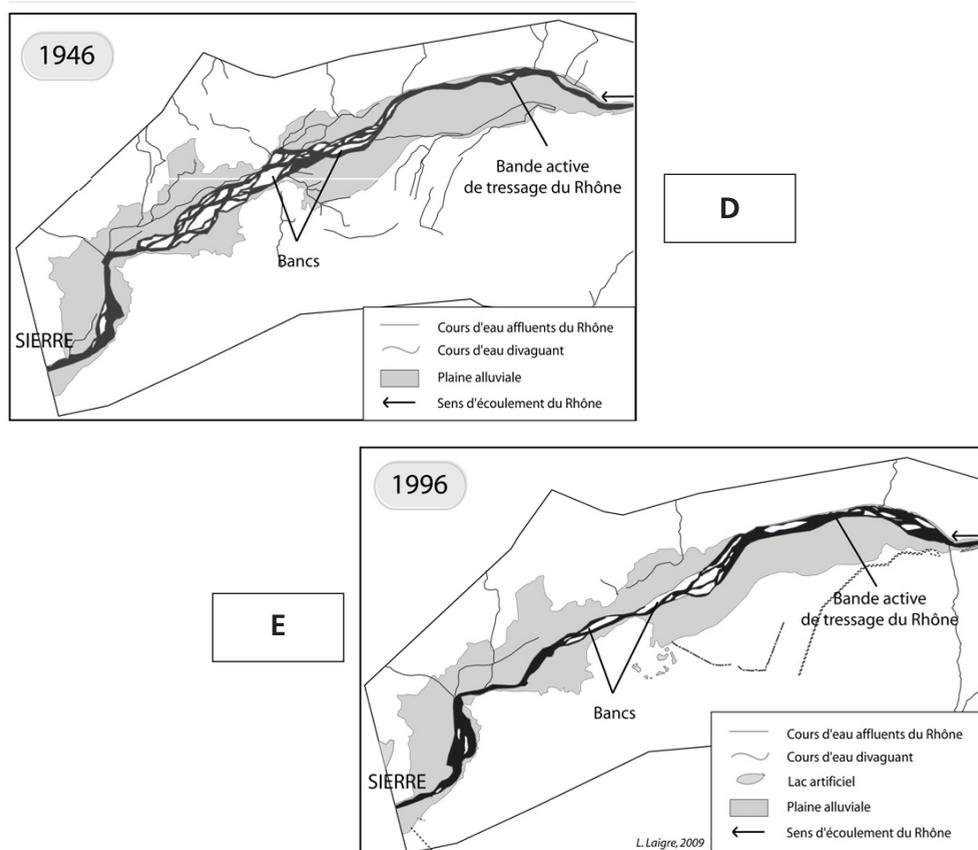


Fig. 7 : Evolution morphologique du Rhône dans le bois de Finges entre 1860 et 1999.

Jusqu'en 1946, la surface moyenne des bancs suivait une évolution relativement similaire à celle de la surface de la bande de tressage correspondante, ce qui confirme que les apports sédimentaires sont restés constants jusqu'à cette date. À partir de 1946, la dynamique change (Fig. 7D). Ces variations trouvent leur explication dans trois facteurs principaux : naturel, anthropique et climatique, ce dernier restant hypothétique. Dans son fonctionnement « naturel », les laves torrentielles apportent, en plus d'une charge fine abondante, d'importants blocs de roches dont la lithologie varie des quartzites aux carbonates faillés. Les événements majeurs correspondent à des volumes de sédiments évacués de l'ordre de $100\,000\text{ m}^3$ (occurrence 3 fois au XX^e siècle). La dynamique de production de ces laves est encore peu connue malgré une surveillance accrue, donc une relation directe entre une modification de la fréquence et de l'intensité des laves et la variation morphologique des bancs n'a pu être vérifiée. Stoffel et al. (2008) remarquent tout de même une forte concentration d'évènements de laves torrentielles durant les années 1950, suivie d'une période de calme relatif entre le milieu des années 1950 et la fin des années 1980. L'impact anthropique a, quant à lui, clairement été établi (Bardou et al., 2002). L'installation d'un barrage de retenue à l'amont de l'Illwasser (affluent de l'Illbach), et de seuils

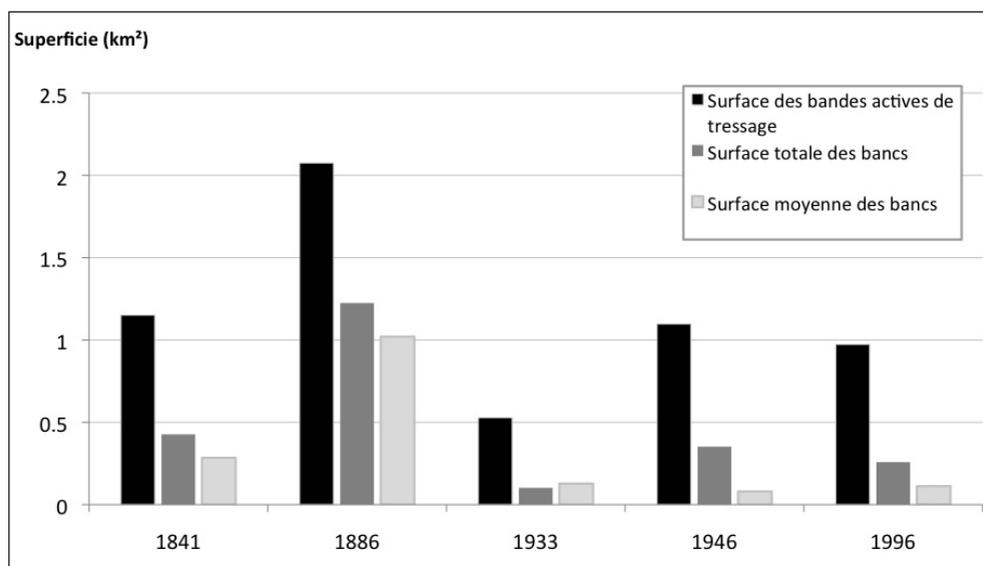


Fig. 8 : Evolution des superficies de la bande active de tressage et des bancs entre 1841 et 1996.

limitant la vitesse des laves dans le chenal de l'Illbach favorise le dépôt de la charge solide. Mais, c'est surtout l'exploitation saisonnière du lit du Rhône depuis les années 1960 dans le but de « réguler » le volume de la charge de fond (Oggier, 2003) qui réduit de manière considérable la quantité de sédiments disponibles au dépôt dans le lit (Fig. 9). L'alimentation n'a donc plus les mêmes caractéristiques ni les mêmes impacts sur le lit du Rhône qu'à la fin du XIX^e siècle. Par ailleurs, ce secteur n'est pas strictement endigué comme les autres secteurs, mais des merlons de pierres ont été installés pour protéger des eaux le bois de Finges. La surface de la bande active de tressage s'est réduite par rapport à 1841 (1,1501 km² en 1841; 0,5278 km² en 1933; Laigre, 2009).

L'ensemble des cônes torrentiels du secteur a été représenté sous la catégorie cône-terrasse car leurs chenaux sont soit endigués, soit incisés (entre 10 et 20 m pour l'Illgraben suivant les secteurs). Ils ne sont plus inondables et n'évoluent donc plus.



Fig. 9 : Modification saisonnière de la morphologie de la bande active due à l'action anthropique (extraction de graviers au printemps ; Clichés: L. Laigre).

4. Conclusions et perspectives

La cartographie paléoenvironnementale du Rhône a permis de caractériser la dynamique fluviale observée depuis la fin du Petit Age Glaciaire en montrant que les actions anthropiques entreprises dans la plaine alluviale (rectification, chenalisation), dans un contexte de réduction des apports solides et liquides liés à la fin du Petit Age Glaciaire (Ballantyne et Whitthington, 1999; Grove, 2001; Magny et Bravard, 2002; Arnaud-Fassetta, 2003) sont ici à l'origine du phénomène. En 1841, de nombreux tronçons fluviaux présentaient un style en tresses avec parfois une large bande active qui occupait la majeure partie du fond de vallée et des secteurs de méandrage. Les débordements catastrophiques du Rhône jusqu'en 1860 ont été à l'origine des premières mesures d'endiguement du fleuve. Celles-ci ont contraint le fleuve à simplifier son style fluvial (adoption d'un tracé subrectiligne) mais elles ont aussi et surtout imprégné le sentiment d'une fausse sécurité aux habitants. Comme dans le cas d'Agarn, certains se sont installés à proximité des anciens chenaux, qui sont des zones sensibles aux inondations par remontée de nappe. Cette dynamique a pu être également observée sur le reste du tracé, notamment à proximité de Sion et à l'aval de Saint-Maurice (Stäubli et Reynard, 2005, Laigre, 2009, Reynard et al., 2009).

La comparaison de la dynamique fluviale du Rhône suisse (cette étude) avec plusieurs cours d'eau alpins et quelques grands fleuves européens depuis la fin du Petit Age Glaciaire a montré la synchronicité des métamorphoses (Laigre et al., 2009). Comme dans cette étude, les principaux facteurs de contrôle des métamorphoses avancés sont climato-anthropiques (Bravard, 1986; Gautier, 1992; Miramont et al, 1998; Arnaud-Fassetta, 2003). L'endiguement pour la gestion des crues et/ou pour la navigation est l'une des causes majeures de réduction de la largeur des bandes actives du XIX^e siècle. L'ensemble de ces cours d'eau connaît actuellement une incision du lit mineur qui peut être importante, de plusieurs centimètres à 12 m comme c'est le cas pour l'Arve (Peiry, 1986).

Au final, ce travail de synthèse cartographique de la dynamique fluviale rhodanienne permet l'amélioration des connaissances sur la plaine du Rhône puisqu'il fournit une importante documentation pour l'identification et l'origine des métamorphoses fluviales survenues à la fin du Petit Age Glaciaire. Cependant, les périodes plus anciennes, notamment celle du Moyen Age, restent très peu documentées en ce qui concerne la dynamique rhodanienne en Suisse. Ces lacunes scientifiques ouvrent donc la voie à des recherches plus approfondies sur le long terme, qui sont actuellement menées dans le cadre d'une thèse de doctorat. Les résultats apporteront une meilleure connaissance de la vallée mais également de l'histoire des populations qui ont peuplé cet espace en interagissant avec leur environnement et en y laissant leur empreinte.

Remerciements

Cette étude a bénéficié du soutien financier de la Fondation Ignace Mariétan, que nous remercions sincèrement. Nous adressons également nos remerciements à Philippe Schoeneich pour la relecture du manuscrit.

Bibliographie

- Arnaud-Fassetta, G. (2003). River channel changes in the Rhône delta (France) since the end of the Little Ice Age: geomorphological adjustment to hydroclimatic change and natural resource management. *Catena*, 51 : 141-172.
- Ballantyne, C. K. et Witthington, G. (1999). Late Holocene floodplain incision and alluvial fan formation in the central Grampian Highlands Scotland: chronology, environment and implications. *Journal of Quaternary Science*, 14 : 641-671.
- Bardou, E., Fournier, F. et Sartori, M. (2002). Paleofloods reconstruction at Illgraben torrent (Switzerland): a current need for event frequency estimation. In V.R. Thorndyraft, G. Benito, M. Barriendos et M.C. Llasat (Eds). *Palaeofloods, historical floods and climatic variability: Applications in flood risk assessment* (pp. 53-59). Proceedings of the PHEFRA Workshop, Barcelona, 16-19th October, 2002.
- Bender, G. (1996). *De la Camargue à la Californie. La plaine, le Rhône et les riverains. Enjeux, débats et réalisations dans la région de Martigny (1750-1860)*. Université de Genève, Mémoire d'études supérieures en Histoire économique et sociale.
- Bravard, J.-P. (1986). *Le Rhône, du Léman à Lyon*. Lyon : La Manufacture.
- Bravard, J.-P. (2000). La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du Moyen Âge et à l'époque moderne. *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, 25 : 145-157.
- Bravard, J.-P., Chabbert, S., Gaydou, P. Combe, C., Provansal, M., Dufour, S., Richard, F., Valleteau, S., Arnaud-Fassetta, G., Melun, G., Passy, P., Berger, J.-F., Brochier, J.-L., Franc, O., Gauthiez, B., Bruneton, H. et Volcot, J. (2007). *Cartographie du paléoenvironnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière suisse à la mer*. Rapport d'études réalisé pour le compte de la DIREN Rhône-Alpes, Délégation de Bassin Rhône-Méditerranée, 62 pp. + cartes.
- Bravard, J.-P., Provansal, M., Arnaud-Fassetta, G., Chabbert, S., Gaydou, P., Dufour, S., Richard, R., Valleteau, S., Melun, G. et Passy, P. (2008). Un Atlas du paléoenvironnement de la plaine alluviale du Rhône de la frontière suisse à la mer. *Collection EDYTEM. Cahiers de Géographie*, 6 : 99-111.
- Burri, M. (1997). Géologie récente des environs de Sierre (VS). *Bulletin de la Murithienne*, 115 : 5-27.
- Canton du Valais (2008). *Rapport de synthèse du plan d'aménagement de la troisième correction du Rhône*. Sion : Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, Service des routes et des cours d'eau.
- Gautier, E. (1992). Interférence des facteurs anthropiques et naturels dans le processus d'incision sur une rivière alpine. L'exemple du Buëch. *Revue de Géographie de Lyon*, 69(1) : 57-62.
- Grove, A.T (2001). The «Little Ice Age» and its geomorphological consequences in Mediterranean Europe. *Climatic Change*, 48 (1) : 121-136.
- Laigre, L. (2009). *Etude diachronique de la dynamique fluviale du Rhône Suisse depuis la fin du Petit Age Glaciaire - Cartographie paléoenvironnementale sectorielle de la source au Lac Léman*. Mémoire de Master 2, Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne.

- Laigre, L., Arnaud-Fassetta, G. et Reynard, E. (2009). Cartographie sectorielle du paléoenvironnement de la plaine alluviale du Rhône suisse depuis la fin du Petit Age Glaciaire : la métamorphose fluviale de Viège à Rarogne et de Sierre à Sion. *Bulletin de la Murithienne*, 127 : 7-16.
- Lechevalier, M. (2005). La mission des ingénieurs géographes français en Valais en 1802. *Vallesia*, 60 : 400-411.
- Magny, M. et Bravard, J.-P. (2002). *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Paris : Errance. 312 pp.
- Miramont, C., Jorda, M. et Pichard, G. (1998). Evolution historique de la morphogénèse et de la dynamique fluviale d'une rivière méditerranéenne : l'exemple de la Moyenne Durance (France du sud-est). *Géographie physique et Quaternaire*, 52(3) : 1-13.
- Montané, A., Arnaud-Fassetta, G. et Reynard, E. (2009). Analyses statistiques et modélisation de la variabilité longitudinale du gradient granulométrique du Rhône suisse. Premiers résultats. *Bulletin de la Murithienne*, 127 : 19-27.
- Oggier, P.-A. (2003). Un développement durable entre Sierre et Loèche. *Tracés*, Février 2003.
- Pasche, L. (2004). Travaux de correction des cours d'eau en Valais et dans la région de Conthey (1860-1900). *Vallesia*, 59 : 225-246.
- Peiry, J.-L. (1986). Dynamique fluviale historique et contemporaine du confluent Giffre-Arve (Haute-Savoie). *Revue de Géographie de Lyon*, 61(1) : 79-86.
- Reclus, E. (1877). *La nouvelle Géographie Universelle*. Paris.
- Reynard, E., Arnaud-Fassetta, G., Laigre, L. et Schoeneich, P. (2009). Le Rhône alpin sous l'angle de la géomorphologie : état des lieux. In E. Reynard, M. Evéquo-Dayen et P. Dubuis (Eds.), *Le Rhône : dynamique, histoire et société* (pp. 75-102). Sion : Cahier de Vallesia, 21.
- Schlunegger, F., Badoux, A., McArdell, B.W., Gwerder, C., Schnydrig, D., Rieke-Zapp, D. et Molnar, P., (2009). Limits of sediment transfer in an alpine debris-flow catchment, Illgraben, Switzerland. *Quat. Sci. Rev.*, 28 : 1097-1105
- Schoeneich, P., Dorthe-Monachon, C., Jailet, S. et Balandras, S. (1998). Le retrait glaciaire dans les vallées des Préalpes et des Alpes au Tardiglaciaire. *Bulletin d'études préhistoriques et archéologiques alpines*, 9 : 23-37.
- Stäubli, S. et Reynard, E. (2005). Evolution du paysage de la plaine du Rhône dans la région de Conthey depuis 1850. *Vallesia*, 60 : 433-456.
- Stäubli, S., Martin, S. et Reynard, E. (2008). Historical mapping for landscape reconstruction : examples from the Canton of Valais (Switzerland), In *Mountain Mapping and Visualisation* (pp. 211-217), Proceedings of the 6th ICA Mountain Cartography Workshop, 11-15 February 2008, Lenk, Switzerland.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Leutwiler, A. et Aeby, P. (2008). Large debris-flow events and overbank sedimentation in the Illgraben torrent (Valais Alps, Switzerland). *Open Geology Journal*, 2 : 18-29.
- Torrenté, C. de (1964). *La correction du Rhône en amont du Lac Léman*. Berne : Service Fédéral des routes et des digues.
- Vischer, D.-L. (2003). *Histoire de la protection contre les crues en Suisse. Des origines jusqu'au 19^{ème} siècle*. Berne : Rapport de l'Office Fédéral des Eaux et de la Géologie (OFEG), 5.