



HAL
open science

Paléo-dynamique fluviale holocène dans le compartiment sud-occidental du fossé rhénan (France)

Laurent Schmitt, Jérôme Houssier, Brice Martin, Monique Beiner, Grzegorz Skupinski, Eric Boës, Dominique Schwartz, Damien Ertlen, Jacqueline Argant, Anne Gebhardt, et al.

► To cite this version:

Laurent Schmitt, Jérôme Houssier, Brice Martin, Monique Beiner, Grzegorz Skupinski, et al.. Paléo-dynamique fluviale holocène dans le compartiment sud-occidental du fossé rhénan (France). Édith Peytremann. Des fleuves et des hommes à l'époque mérovingienne: territoire fluvial et société au premier Moyen âge, Ve-XIIe siècle: actes des XXXIIIèmes Journées internationales d'archéologie mérovingienne, Strasbourg, 28-30 septembre 2012, 32, RAE, 2016, Mémoires de l'Association française d'Archéologie mérovingienne, 2-915544-35-2. hal-02099386

HAL Id: hal-02099386

<https://hal.science/hal-02099386v1>

Submitted on 24 May 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Oes **F**leuves et des **h**ommes à l'époque mérovingienne

**Territoire fluvial et société
au premier Moyen Âge (V^e-XII^e siècle)**

ACTES DES 33^e JOURNÉES INTERNATIONALES
D'ARCHÉOLOGIE MÉROVINGIENNE
28-30 SEPTEMBRE 2012, STRASBOURG



Tome XXXII des Mémoires de l'Association française d'Archéologie mérovingienne
42^e supplément à la Revue archéologique de l'Est
Dijon 2016

Histoire de fleuves

PALÉO-DYNAMIQUE FLUVIALE HOLOCÈNE DANS LE COMPARTIMENT SUD-OCCIDENTAL DU FOSSÉ RHÉNAN (FRANCE)

Fluvial holocene palaeo-dynamics in the south-western upper Rhine graben (France)

Holozäne fluviale Palaeodynamik im Südwesten des Oberrheingrabens (Frankreich)

**Laurent SCHMITT¹, Jérôme HOUSSIER¹, Brice MARTIN², Monique BEINER³, Grzegorz SKUPINSKI¹, Éric BOËS⁴,
Dominique SCHWARTZ¹, Damien ERTLEN¹, Jacqueline ARGANT⁵, Anne GEBHARDT⁶, Nathalie SCHNEIDER⁷,
Marina LASSERRE⁸, Georges TRINTAFILLIDIS⁸, Vincent OLLIVE⁹**

Mots-clés *Rhin supérieur, Ill, dynamique holocène, avulsions, inondations historiques, LIDAR, minéraux lourds, cartes anciennes.*

Schlüsselwörter *Oberrhein, Ill, holozäne Dynamik, Avulsion, historische Überschwemmungen, LIDAR, Schwerminerale, historische Karten.*

Keywords *Upper Rhine, Ill River, Holocene dynamics, avulsions, documentary floods, LIDAR, heavy minerals, historical maps.*

Résumé *Cet article porte sur la paléo-dynamique holocène du Rhin supérieur et de l'Ill en France. À l'échelle de l'ensemble de la plaine, il synthétise les connaissances acquises en incluant les faits marquants de l'histoire des inondations depuis le Moyen Âge. À l'échelle du compartiment médian de la plaine (Neuf-Brisach – Rhinau), un compartiment particulièrement complexe, des résultats innovants issus de programmes de recherches inter-disciplinaires récents sont présentés. Ils concernent à la fois des données morpho-sédimentaires, LIDAR, relatives aux minéraux lourds, cartographiques, pédologiques, ainsi qu'un jeu de datations radiocarbone.*

Zusammenfassung *In diesem Artikel wird die holozäne fluviale Palaeodynamik des Rheins und der Ill in Frankreich diskutiert. Auf Skala der gesamten Schwemmebene, synthetisieren wir die Literatur einschließlich der Geschichte der Überschwemmungen seit dem Mittelalter. Im komplexen Fall des Bereich des Zwischenraums der Ebene (Neuf-Brisach – Rhinau), werden innovative Ergebnisse der letzten interdisziplinären Forschungsprogramme vorgestellt. Sie beinhalten sowohl morphosedimentäre Daten, LIDAR, Schwerminerale, Kartierung, Bodenkunde und eine Reihe von Radiokohlenstoff-Datierungen.*

Abstract *This paper deals with the Holocene palaeo-dynamics of the Upper Rhine and Ill rivers in France. It summarizes existing knowledge, including the main data regarding the documented floods since the Middle Age for the whole French alluvial plain. New data resulting from recent interdisciplinary research programmes for the particularly complex middle section of the plain (Neuf-Brisach – Rhinau) are given, concerning heavy minerals, LIDAR, morpho-sedimentary, cartographic, pedological data as well as radiocarbon datings.*

1. Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 Unistra-CNRS-ENGEES, 3 rue de l'Argonne, 67083 Strasbourg cedex.

2. Centre de Recherche sur les Économies, les Sciences, les Arts et les Techniques, FSESJ/UHA, 2 rue des Frères Lumière, 68093 Mulhouse cedex.

3. Analyses minéralogiques, 37 avenue du Phare, 14150 Ouistreham.

4. UMR 7044 UNISTRA-CNRS Archéologie et Histoire ancienne: Méditerranée-Europe, Centre archéologique de Strasbourg, Inrap, 10 rue d'Altkirch, 67000 Strasbourg.

5. Université Aix-Marseille, CNRS, MCC, LAMPEA UMR 7269 MMSH, 5 rue du Château de l'Horloge, 13094 Aix-en-Provence cedex 2.

6. Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 UNISTRA-CNRS-ENGEES, Inrap, 95 rue Henri Becquerel, 54710 Ludres.

7. Laboratoire Image Ville Environnement UMR 7362 UNISTRA-CNRS-ENGEES, Inrap, 10 rue d'Altkirch, 67100 Strasbourg.

8. DRAC Alsace, Service régional de l'Archéologie, 2 Place de la République, 67082 Strasbourg Cedex.

9. LOTerr EA 7304, Université de Lorraine, Campus Lettres et Sciences Humaines, 23 Boulevard Albert 1er, 54015 Nancy Cedex.

1. INTRODUCTION

Contrairement aux principales vallées alluviales de France (Moselle, Rhône, Loire, Garonne... BRAVARD, MAGNY, 2002 ; BURNOUF *et alii*, 2003 ; BURNOUF, LEVEAU, 2004) et à de nombreuses vallées d'Europe et du monde (GREGORY *et alii*, 1995 ; GREGORY, BENITO, 2003 ; STARKEL *et alii*, 2006), la plaine alluviale française du Rhin supérieur (Bâle-Lauterbourg) a fait l'objet de relativement peu d'études paléo-environnementales, à l'exception de quelques travaux pionniers mais anciens (WERNER, 1928 ; CARBIENER, 1969 ; HIRTH, 1971), ou récents et souvent centrés sur des sites archéologiques locaux (VOGT, 1978 ; AL SIDDICK, 1986 ; SCHNEIDER *et alii*, 1997 ; OLLIVE *et alii*, 2006).

Pour combler ce retard relatif et donc contribuer à une meilleure compréhension du cadre paléo-environnemental des investigations archéologiques dans la plaine alluviale ello-rhénane (Ill et Rhin), divers programmes de recherche géo-archéologique ont été menés depuis 2003 dans le secteur Colmar-Sélestat : rapports de fouilles programmées (BOËS *et alii*, 2002, 2003), PCR (Projet Collectif de Recherche) 2007-2008 « Paysage et peuplement du secteur ello-rhénan (région Alsace), entre forçage environnemental et contrôle humain. Approche intégrée du Néolithique au Moyen Âge » (BEINER *et alii*, 2007) et PCR 2014 « Du Rhin archéologique au Rhin historique : les hommes et le fleuve ». Ces travaux ont été complétés ponctuellement par des expertises géomorphologiques menées sur les opérations archéologiques préventives.

L'objectif de cet article est double : (i) à l'échelle de toute la plaine alluviale d'Alsace, rassembler en les synthétisant les connaissances sur la paléo-dynamique fluviale du Rhin, mais aussi sur celle de son principal affluent, l'Ill. Des données sur les inondations historiques sont aussi résumées ; (ii) à l'échelle du secteur médian de la plaine, présenter les résultats des programmes de recherches paléo-environnementales des dix dernières années cités plus haut, ces résultats n'ayant pas encore été publiés. Ce double objectif doit permettre aux archéologues de disposer d'une synthèse des principales connaissances paléo-environnementales sur la plaine alsacienne, en les réactualisant dans le compartiment médian où un effort de recherche particulier a été produit ces dernières années. Compte tenu des contraintes éditoriales du présent article, nous nous efforcerons de rester synthétique. Pour cela, nous avons fait le choix de présenter certains résultats sous la forme de commentaires après les titres des figures.

2. ÉCHELLE DE TOUTE LA PLAINE RHÉNANE : SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES

2.1. LA GÉOLOGIE DU FOSSÉ RHÉNAN : BREF APERÇU

La plaine alluviale rhénane se situe dans le fossé tectonique du Rhin supérieur. En France, la superficie s'étend sur 2 800 km², entre d'une part le Rhin à l'est et le piémont des Vosges à l'ouest (env. 10-15 km), et d'autre part Bâle et les collines du Sundgau au sud et Lauterbourg au nord (200 km ; fig. 1 et 2). Le Graben s'est formé à partir de l'Éocène moyen avec les premiers affaissements de la clé de voûte de l'ensemble Vosges - Forêt Noire (GALL, 1984). À une échelle plus vaste, ce rift fait partie d'un alignement tectonique qui s'étend de la Méditerranée, par la vallée du Rhône et la Bresse, à la Suède (VOGT, 1984). La subsidence s'est poursuivie de l'Oligocène au Quaternaire. En Alsace, l'effondrement total varie entre 2 000 et 4 000 m (VOGT, 1984). Depuis le début du Pléistocène, le fleuve, rejoint par le Rhin alpin au Mindel-Riss, s'écoule dans le fossé rhénan, alors qu'auparavant il s'est successivement écoulé vers la Mer Noire par le Danube, puis vers la Méditerranée par la Saône et le Rhône (PREUSSER, 2008). La poursuite de la subsidence et les oscillations climatiques favorisèrent l'importante accumulation fluviale dans le rift, surtout d'origine rhénane donc alpine (dépôts fluvio-glaciaires). L'empilement sédimentaire de graviers, galets, sables, limons et argiles peut atteindre 200 à 250 m et forme la matrice de l'aquifère. La nappe phréatique, l'un des plus grands réservoirs d'eau quasiment potable d'Europe occidentale, constitue un facteur essentiel de l'évolution des paysages de la plaine alluviale, notamment du fait de sa faible profondeur qui est de l'ordre de 1 à 2 m, sauf dans la partie sud du fossé (approximativement au sud d'une ligne allant de Colmar à Freiburg im Breisgau).

Jusqu'à la fin du Pléistocène, le réseau très complexe et dynamique de chenaux tressés du Rhin pouvait s'étaler sur quasiment toute la largeur de la plaine, ce qui explique pourquoi l'Ill ne s'était pas encore individualisée. Ceci se produisit au début de l'Holocène, en lien avec la diminution des débits et donc de la largeur du Rhin (*cf. infra*). Nous emploierons le terme « défluent » pour désigner de façon générale des bras latéraux du Rhin et de l'Ill qui ne sont pas des bras tressés. Il s'agit en général d'anastomoses, voire dans certains cas d'anabranches (NANSON, KNIGHTON, 1996 ; MAKASKE, 2001), qui peuvent être déconnectées à l'amont. Les diffluences désignent des anastomoses qui ne rejoignent pas le cours d'eau d'origine. Certaines d'entre elles s'écoulent de l'Ill vers le Rhin (la Zembs, la Krafft) ou inversement du Rhin vers l'Ill (la Rigole de Widensolen). Le réseau de chenaux est particulièrement dense dans le secteur médian de la plaine (fig. 2 ; *cf. infra*).

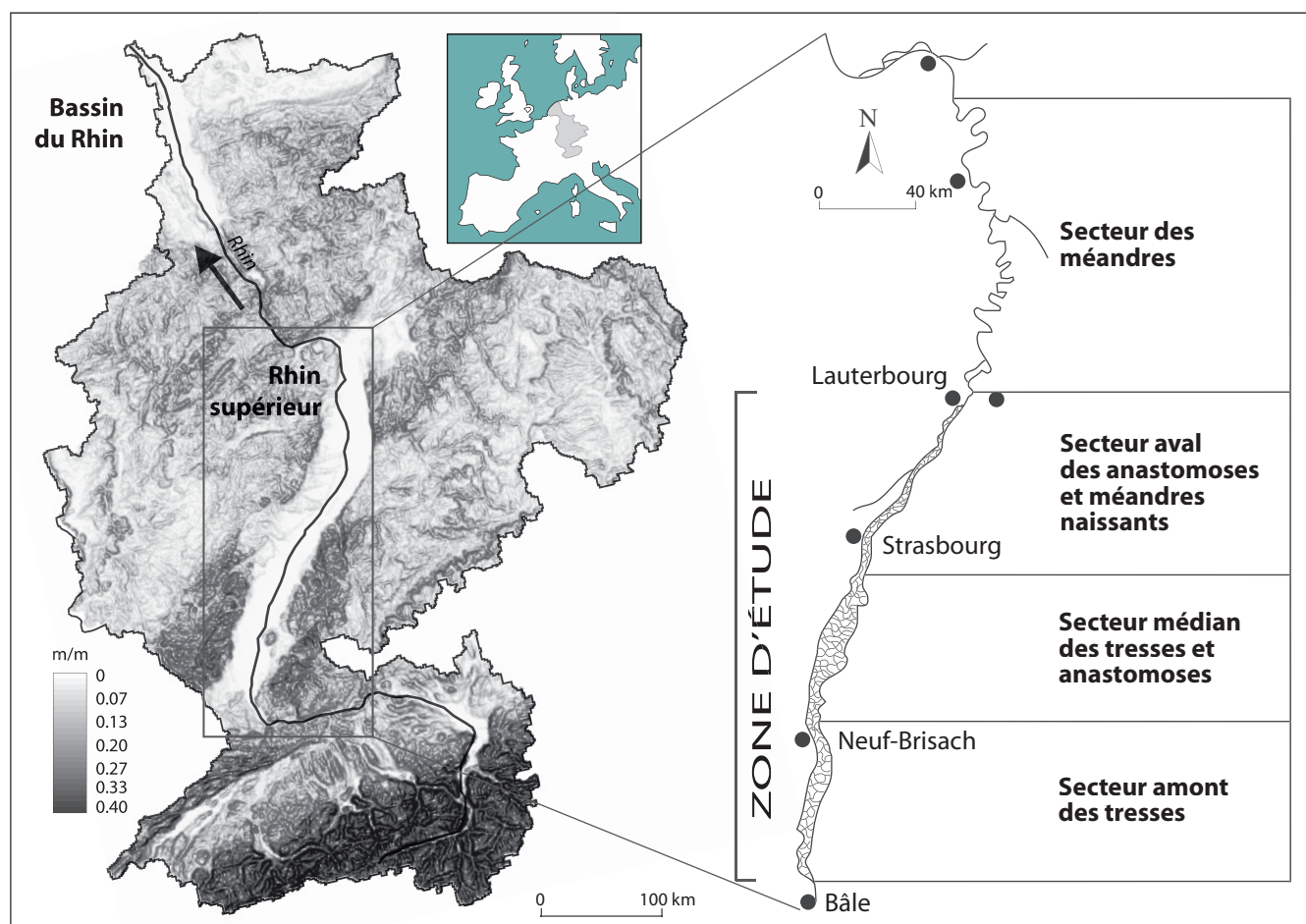


Fig. 1. Bassin du Rhin et sectorisation longitudinale du Rhin supérieur (tracé en plan schématisé) (d'après CARBIENER, 1969 ; CARBIENER, TRÉMOLIÈRES, 2003 ; SCHMITT et alii, 2007b).

2.2. APERÇU SUR LES INONDATIONS HISTORIQUES DU RHIN

La connaissance des crues historiques constitue un enjeu majeur dans la région du Rhin supérieur, notamment pour les agglomérations de Bâle et de Strasbourg, mais aussi dans de nombreux villages plus ou moins éloignés du fleuve. La présence de ces grandes villes le long du fleuve fournit une information historique particulièrement riche, sur les inondations et non pas les crues¹. En effet, avant la systématisation des mesures hydrologiques, les informations collectées dans les archives reposent d'abord sur l'endommagement et, donc, la vulnérabilité des biens et des personnes, ensuite sur les perceptions. Autant d'éléments variables dans le temps et dans l'espace. Avant toute analyse chronologique des inondations sur le temps long, il convient donc de bien garder à l'esprit que la comparaison, la hiérarchisation, voire la transposition des événements ne peut être

effectuée qu'avec beaucoup de précautions compte tenu des discontinuités que présente une chronologie d'inondations sur le temps long : discontinuité de l'aléa, des enjeux, des vulnérabilités, des sources d'archives et des perceptions (MARTIN *et alii*, 2015). Ajoutons également que l'on se situe, surtout pour la partie française du Rhin supérieur, dans une région caractérisée malheureusement par un contexte historique défavorable à la connaissance des inondations sur le temps long, en raison des pertes et destructions dues aux guerres, ainsi que des nombreux changements d'administrations et de langues (MARTIN *et alii*, 2011). D'un autre côté, le caractère trinational du fleuve permet de bénéficier de travaux complémentaires réalisés par les Suisses, les Allemands et les Français. En premier lieu, il convient de mentionner ceux de Champion (1863) qui, pour le Rhin, recense sans les hiérarchiser plus d'une centaine d'inondations ayant laissé une trace dans les archives entre 590 et 1861. Il faut néanmoins attendre le début du XIII^e siècle pour obtenir des informations précises sur les sites touchés ou la cause des inondations, dont le nombre et la fréquence augmentent parallèlement à l'accroissement des sources

1. Une crue, c'est-à-dire une augmentation du débit, n'est pas nécessairement inondante.

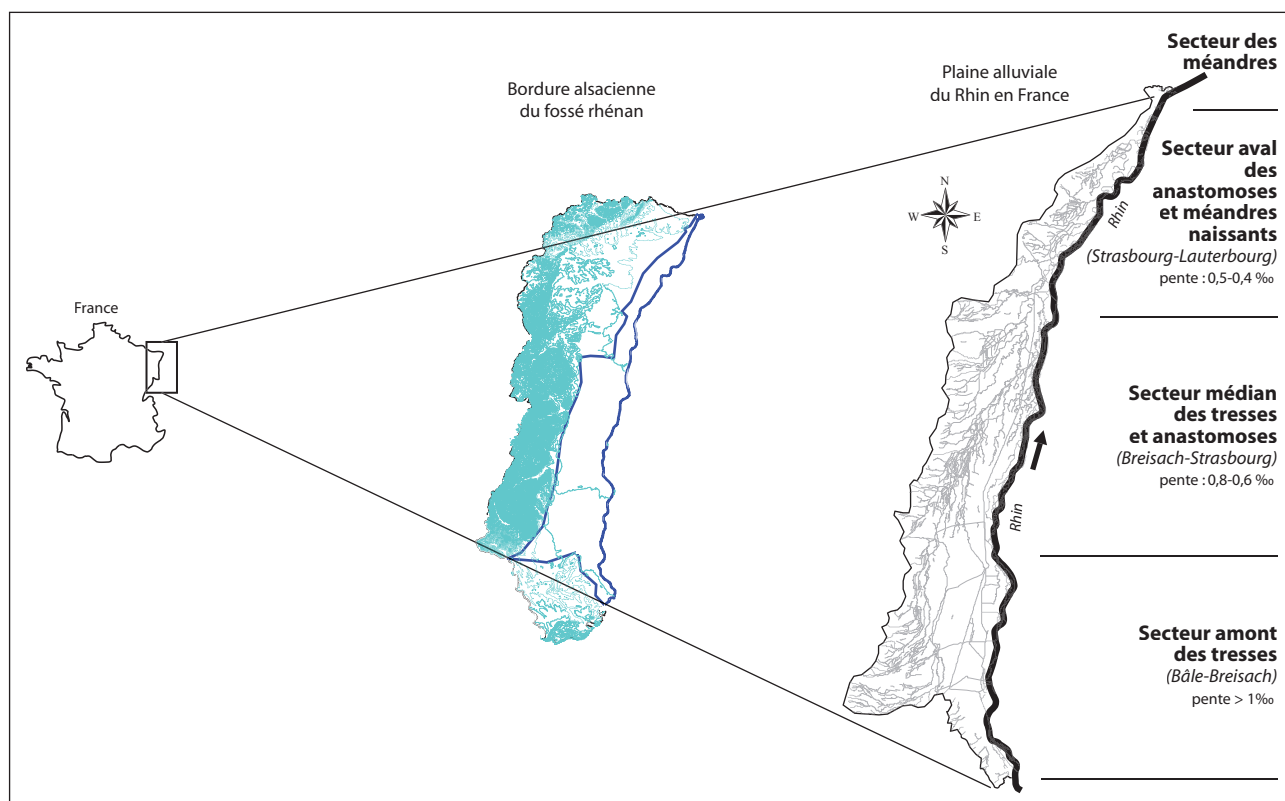


Fig. 2. Localisation de la zone d'étude dans la bordure alsacienne du fossé rhénan, réseau hydrographique de la plaine alluviale ello-rhénane et sectorisation longitudinale fondée notamment sur le style fluvial du Rhin et les héritages de la paléo-dynamique du fleuve et de l'Ill (d'après CARBIENER, 1969, 1983a ; SCHMITT et alii, 2007c).

d'archives et, bien sûr, de la vulnérabilité. En témoignent, notamment, les repères de crues qui jalonnent les communes situées le long du Rhin en Suisse et en Allemagne. Les plus anciens permettent de visualiser les inondations à partir du début du XVII^e siècle et une habitation bâloise propose une juxtaposition de repères couvrant la période 1641 - 1882 (PFISTER, 1999). C'est à l'appui de ces repères, du dépouillement des archives et des séries de mesures remarquables par leur durée (depuis 1808 à Bâle) qu'ont été proposées chronologies, classifications et reconstructions par méthode historico - progressive des inondations du Rhin supérieur par différents auteurs comme Glaser *et alii* (2010), Wetter *et alii* (2011) ou Himmelsbach (2014), dans le cadre du programme TRANSRISK (MARTIN, 2013). Entre la fin du XII^e siècle et 1700, on relève au moins six événements catastrophiques évalués à plus de 6000 m³/s à Bâle (WETTER *et alii*, 2011). Parmi ceux-ci, l'inondation d'août 1480, désignée sous le terme « déluge du Rhin » par les chroniqueurs de l'époque, demeure particulièrement remarquable (HIMMELSBACH, 2014), inondant la place du marché aux poissons à Bâle et détruisant les ponts en aval de la ville. S'ajoutent à cela une quarantaine d'inondations graves, de débits compris entre 5000 et 6000 m³/s à Bâle, s'étant majoritairement produites avant la fin du XIX^e siècle.

On retiendra, notamment, celle de septembre 1852 où les eaux du Rhin et de l'Ill se mêlaient dans la plaine d'Alsace, et celle de juin 1876, responsable de sévères dégâts dans les parties sud et est de Strasbourg.

De façon générale, deux informations importantes doivent être mentionnées :

- d'un point de vue climatique, dans la plupart des cas, les inondations se sont produites à la suite d'intenses précipitations durant plusieurs jours d'affilée, associées à une importante fonte des neiges (SCHÖNBEIN *et alii*, 2012). D'abord estivales, ces inondations tendent à se produire de plus en plus au printemps (GLASER *et alii*, 2010 ; HIMMELSBACH, 2014) à partir du XIX^e siècle. Mais curieusement, après 1882, on ne relève qu'un nombre très réduit d'inondations graves : 1910 (dernière inondation de communes alsaciennes, MARTIN *et alii*, 2011), 1994, 1999 et 2007. Cette rupture est d'autant plus notable que le XIX^e siècle a été marqué par une fréquence élevée d'inondations de grande ampleur ;

- les inondations du Rhin sont fortement conditionnées par les facteurs anthropiques. S'il est difficile d'évaluer l'influence des changements d'occupation du sol (agriculture, forêt, etc.) dans le haut-bassin, il est clair que les travaux correctifs menés sur le Rhin, ses lacs et ses affluents ont pesé

sur la fréquence et l'intensité des inondations. L'absence relative d'inondations catastrophiques après 1714 est à mettre en lien avec la déviation de la Kander vers le lac de Thune, tandis que la déviation des eaux de crue de l'Aar vers le lac de Biene en 1877 explique sans doute aussi la diminution des inondations graves après 1882. De même, l'achèvement de la correction du Rhin entre Bâle et Strasbourg en 1876 explique sans aucun doute la quasi-disparition des crues dommageables après cette date dans le fossé rhénan. Faut-il en conclure que le risque d'inondations catastrophiques a presque disparu ? Assurément non car, quelles que soient l'importance et l'efficacité des aménagements, les études récentes montrent qu'entre la fin du XIX^e siècle et l'époque actuelle (BAFU, 2009), aucune situation climatique favorable à des débits extrêmes ne semble s'être produite (WETTER *et alii*, 2011).

Ces considérations d'ordre hydrologique soulignent l'importance et la fréquence des inondations du Rhin supérieur au cours du passé. À l'origine d'un facteur risque indéniable, les crues, pendant lesquelles transite une grande part de la charge solide, sont aussi responsables d'évolutions géomorphologiques, latérales et verticales. Celles-ci peuvent en retour influencer l'aléa inondation par des variations de la capacité à pleins bords. En outre, la connaissance sur le temps long des événements hydrologiques permet de discuter la signification paléoclimatique des dépôts de crue identifiés sur les sites archéologiques, comme par exemple à Oedenburg (OLLIVE *et alii*, 2006).

2.3. STRUCTURATION GÉOMORPHOLOGIQUE LONGITUDINALE DE LA PLAINE ALLUVIALE ET DU STYLE FLUVIAL RHÉNAN ET ÉTAT DES CONNAISSANCES POUR CHAQUE COMPARTIMENT

La sectorisation de la plaine rhénane proposée par Carbiener (1969 ; 1983a), que nous reprenons ici, repose essentiellement sur les héritages géomorphologiques induits par les évolutions post-würmiennes et holocènes (profils en long notamment) et l'étude des cartes anciennes du Rhin.

2.3.1. Facteurs de contrôle

Après le Dryas (14-9 ka), le profil en long du Rhin s'est réajusté de façon différenciée longitudinalement en réponse à l'évolution de plusieurs facteurs de contrôle : (i) diminution des débits liquide et solide due au réchauffement climatique holocène (HIRTH, 1971) ; (ii) piégeage des alluvions dans les lacs suisses pour 60 % de la superficie du bassin rhénan en amont de Bâle, après la formation de ceux-ci par le retrait des glaciers alpins, ce qui a diminué la charge sédimentaire et l'intensité des crues (WALSER, 1959 ; HIRTH, 1971) ; (iii) mouvements tectoniques positifs

à l'amont et en aval de Mulhouse (NIVIÈRE *et alii*, 2006 ; KOCK *et alii*, 2009a) et négatifs à hauteur de Marckolsheim (JUNG, SCHLUMBERGER, 1936 ; THÉOBALD, 1948 ; ILLIES, GREINER, 1979) – voire sur tout le secteur Marckolsheim-Strasbourg –, ainsi qu'au nord de Strasbourg (VOGT, 1980). La subsidence (relative) paraît plus marquée sur le secteur Marckolsheim-Strasbourg que plus en aval.

En conséquence, en cours de l'Holocène, le profil longitudinal du Rhin s'est incisé sur les tronçons Bâle - Neuf-Brisach et Strasbourg-Lauterbourg, et a eu tendance à se maintenir, voire à s'exhausser légèrement, sur le tronçon Neuf-Brisach - Strasbourg (BRIQUET, 1928 ; CARBIENER, 1969, 1983a ; fig. 3). De cette évolution différenciée découle la structuration longitudinale subactuelle de la plaine ello-rhénane, présentée ci-dessous (fig. 2 et 3).

2.3.2. Le secteur amont du cône fluvio-glaciaire (« tresses » ; Bâle - Neuf-Brisach)

Dans ce compartiment la pente est de l'ordre de 1 ‰ et le lit majeur du Rhin s'étend sur une largeur d'environ 4 km. Avant les aménagements, l'hydrosystème était parcouru par de nombreuses tresses, anabranches et, dans une moindre mesure, des anastomoses (ARNAUD, 2012). Le champ d'inondation est limité à l'ouest par un talus constitué en général de plusieurs terrasses emboîtées, d'une hauteur maximale de 25 m résultant de l'incision post-würmienne du fleuve dans ce secteur (THÉOBALD, 1948). Ce rebord se poursuit vers l'ouest par la terrasse würmienne (« Hardt Rouge ») sur laquelle s'écoulent l'III et ses affluents originaires des Vosges méridionales. Cette terrasse constitue un important cône proglaciaire déposé par le Rhin au débouché de la vallée du Haut Rhin au dernier maximum glaciaire et au Dryas récent, lorsque le glacier alpin s'étendait jusqu'à Bâle. Les datations par OSL et radiocarbone indiquent des âges compris entre 30 ka et 11 ka (FRECHEN *et alii*, 2009 ; KOCK *et alii*, 2009a ; 2009b ; LÄMMERMANN-BARTHEL *et alii*, 2009). Cette terrasse est affectée localement par des bombements diapiriques entre l'III et le Rhin, ce qui a pu accentuer l'espacement entre les deux cours d'eau (JUNG, SCHLUMBERGER, 1936 ; LUTZ, CLEINTUAR, 1999). À l'amont de Mulhouse (voire un peu plus en aval) ce cône est affecté d'un soulèvement néotectonique, lié au horst du Sundgau (NIVIÈRE *et alii*, 2006). Jusqu'à Sundhoffen, les affluents de rive gauche de l'III, et leurs défluents, sont confinés dans une dépression néo-tectonique récente (VOGT, 1984), entre la terrasse würmienne et les formations quaternaires vosgiennes de piémont plus à l'ouest. La dynamique de l'III sur le secteur Mulhouse-Colmar, principalement de type méandres divagants, était très active avant les travaux de rectification (SCHMITT, 2001).

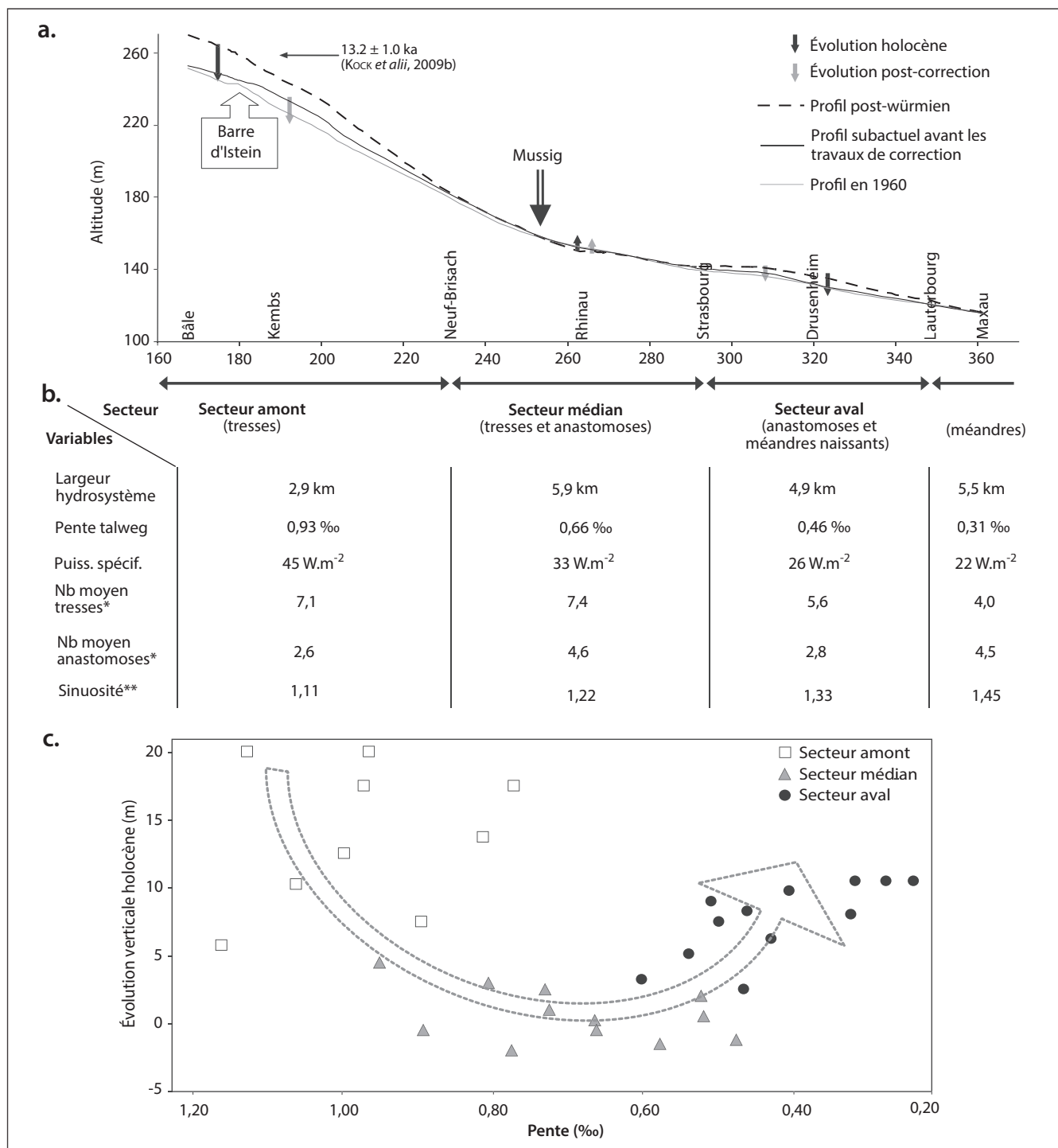


Fig. 3. Gradient longitudinal et évolution temporelle du Rhin de Bâle à Maxau. **a.** Profil en long diachronique à trois stades de l'évolution post-würmienne et contemporaine du lit du fleuve (adapté d'après Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin, 1977 ; CARBIENER, DILLMANN, 1992 ; SCHMITT, 2001). **b.** Sectorisation longitudinale et caractérisation géomorphologique synthétique des secteurs du Rhin sauvage (1828 ; adapté d'après KLEINAS, 2003). **c.** Évolution longitudinale des secteurs en fonction des deux variables de contrôle les plus discriminantes vis-à-vis d'un large jeu de variables de réponse, d'après des analyses statistiques multivariées (régression multiple) : la pente et l'évolution verticale relative holocène (SCHMITT, 2010). Ces dernières données montrent que si la pente décroît progressivement vers l'aval, l'évolution verticale holocène des alluvions würmiennes engendre une différenciation significative du compartiment médian de la plaine (à tresses et à anastomoses) : forte largeur, tendance à la sédimentation holocène, essentiellement fine, abondance d'anastomoses (et plus encore de paléo-anastomoses, c'est-à-dire qui sont déconnectées à l'amont et éloignées du Rhin et de l'Ill).

2.3.3. Le secteur médian de recoupement des profils en long würmien et sub-actuel (« tresses et anastomoses » ; Neuf-Brisach - Strasbourg ; fig. 3)

La pente est ici de 0,8 à 0,6 ‰ et le lit majeur pouvait atteindre une largeur de 6 à 8 km pour les crues fréquentes, et de 20 km pour les crues les plus rares (CHAMPION, 1863 ; *cf. supra*). Le profil en long rhénain sub-actuel recoupe, voire domine légèrement (CARBIENER, 1983a), le profil würmien (fig. 3). Ce compartiment est globalement une zone d'aggradation holocène, essentiellement de sédiments fins (SCHMITT *et alii*, 2006), pour partie issus de l'incision holocène du fleuve dans le secteur amont (LÄMMERMANN-BARTHEL *et alii*, 2009). Le développement exceptionnel du réseau d'anastomoses du Rhin et de l'Ill dans ce secteur de la plaine résulte de la conjonction de la plupart des facteurs favorisant ce style fluvial (SMITH, SMITH, 1980 ; NANSON, KNIGHTON, 1996 ; SCHUMM *et alii*, 2000 ; MAKASKE, 2001) : importante largeur de la plaine alluviale, subsidence (relative), tendance à la sédimentation, héritage des déplacements holocènes du Rhin et de l'Ill (HIRTH, 1971 ; SCHMITT *et alii*, 2006 ; OLLIVE, 2007). De nombreux chenaux post-glaciaires (et holocènes) furent comblés par la sédimentation fine holocène, mais certains d'entre eux purent se maintenir en raison d'une connexion hydrologique amont, pérenne ou intermittente au Rhin et/ou à l'Ill, et/ou d'un important drainage de l'aquifère ello-rhénain (favorisé dans certains cas par des désenvasements anthropiques ; SCHMITT, 2001). La limite occidentale du champ d'inondation régulier du fleuve était formée, au sud de Marckolsheim, par la « Hardt Grise », qui résulte du remaniement d'une partie de la terrasse würmienne (HIRTH, 1971) et, au nord de Marckolsheim, par un ensemble de levées post-romaines sub-parallèles au fleuve (« Ried Brun » ; CARBIENER, 1969, 1983 ; HIRTH, 1971). Ce compartiment régulièrement inondé par le Rhin, appelé « Ried blond » (CARBIENER, 1969 ; 1983), était parcouru dans toute sa largeur par de très nombreuses tresses, anabranches et anastomoses, généralement fonctionnelles jusqu'à la correction du Rhin.

Le secteur Colmar-Erstein comprend, entre le lit majeur ordinaire du Rhin et celui de l'Ill, une dépression particulièrement humide appelée « Ried Noir » (CARBIENER, 1983). Ce compartiment aurait été soustrait aux submersions régulières à l'Holocène moyen (environ 6000 B.P., une estimation obtenue grâce aux pollens) selon Oberdorfer (1967), par l'édification de deux ensembles de levées alluviales : à l'est, des levées rhénanes antérieures au Ried Brun, et à l'ouest, des levées de l'Ill (CARBIENER, 1983 ; HIRTH, 1971). Cette dépression aurait en conséquence cessé d'être alluvionnée et aurait évolué vers un bas marais calcique à sols hydro-morphes localement tourbeux, du fait de la proximité du toit de la nappe.

Plus à l'ouest, l'Ill quitte la terrasse würmienne entre Sundhoffen et Horbourg. Elle s'écoule jusqu'à Eschau dans une dépression délimitée à l'ouest par les cônes de déjection de la Fecht et du Giessen et la terrasse d'Erstein, et, à l'est, par les levées ellanes susnommées formant la bordure occidentale du Ried noir (*cf. aussi infra*). L'Ill présentait dans le secteur Horbourg-Eschau les signes d'un lit dynamique (petits bancs), bien que cette dynamique fût nettement moins active qu'en amont de Colmar-Horbourg, ainsi que de nombreuses anastomoses, comme on peut par exemple l'observer sur la carte de Le Rouge et Dien (1802), et encore aujourd'hui sur le terrain (SCHMITT, 2001). Il est intéressant de noter que l'Ill et le Rhin présentent des anastomoses dans le même secteur géomorphologique de la plaine ello-rhénane. Ceci suggère que le style fluvial à anastomoses n'est pas directement lié à la morphodynamique du lit mineur (ici de l'Ill et du Rhin), mais aux processus se manifestant à l'échelle de la plaine alluviale : il s'agit d'une sédimentation holocène générale (aggradation) au-dessus des graviers würmiens (alors que cette stratigraphie générale est inverse dans les deux secteurs adjacents) du fait des inondations par débordement, sédimentation qui est accentuée par la subsidence relative.

La plupart des rivières à alimentation exclusivement phréatique de la plaine ello-rhénane étaient logiquement situées dans le Ried Noir, du fait de la faiblesse de l'altitude relative et de l'éloignement aux deux cours d'eau principaux. Cependant, pendant les crues les plus fortes, les eaux du Rhin pouvaient atteindre ce compartiment, ce qui pouvait limiter le colmatage des chenaux de cet espace (une importante alimentation phréatique, en particulier dans les chenaux les plus grands, peut aussi atténuer le colmatage). À titre d'exemple, mentionnons que la Rigole de Widensohlen (fig. 4), essentiellement alimentée par la nappe avant la correction du Rhin, pouvait écouler des eaux rhénanes au cours des débordements les plus importants (HIRTH, 1971). Il convient toutefois de mentionner que de nombreux curages étaient effectués depuis au moins quatre siècles (et vraisemblablement encore davantage...) par les riverains afin de drainer les terrains agricoles avoisinants, limiter les débordements et favoriser le flottage (Syndicat de l'Ischert, 1846). En l'état actuel de nos connaissances, il est par conséquent délicat de distinguer l'importance relative des facteurs naturel et anthropique pouvant expliquer la pérennité des rivières à alimentation exclusivement phréatique.

2.3.4. Le secteur aval (« anastomoses et méandres naissants » ; Strasbourg - Lauterbourg)

En aval de Strasbourg la pente est de 0,5 à 0,3 ‰ et le lit majeur pouvait s'étendre sur 6 à 8 km, à l'est d'un talus sub-continu bordant, du sud vers le nord, la terrasse de

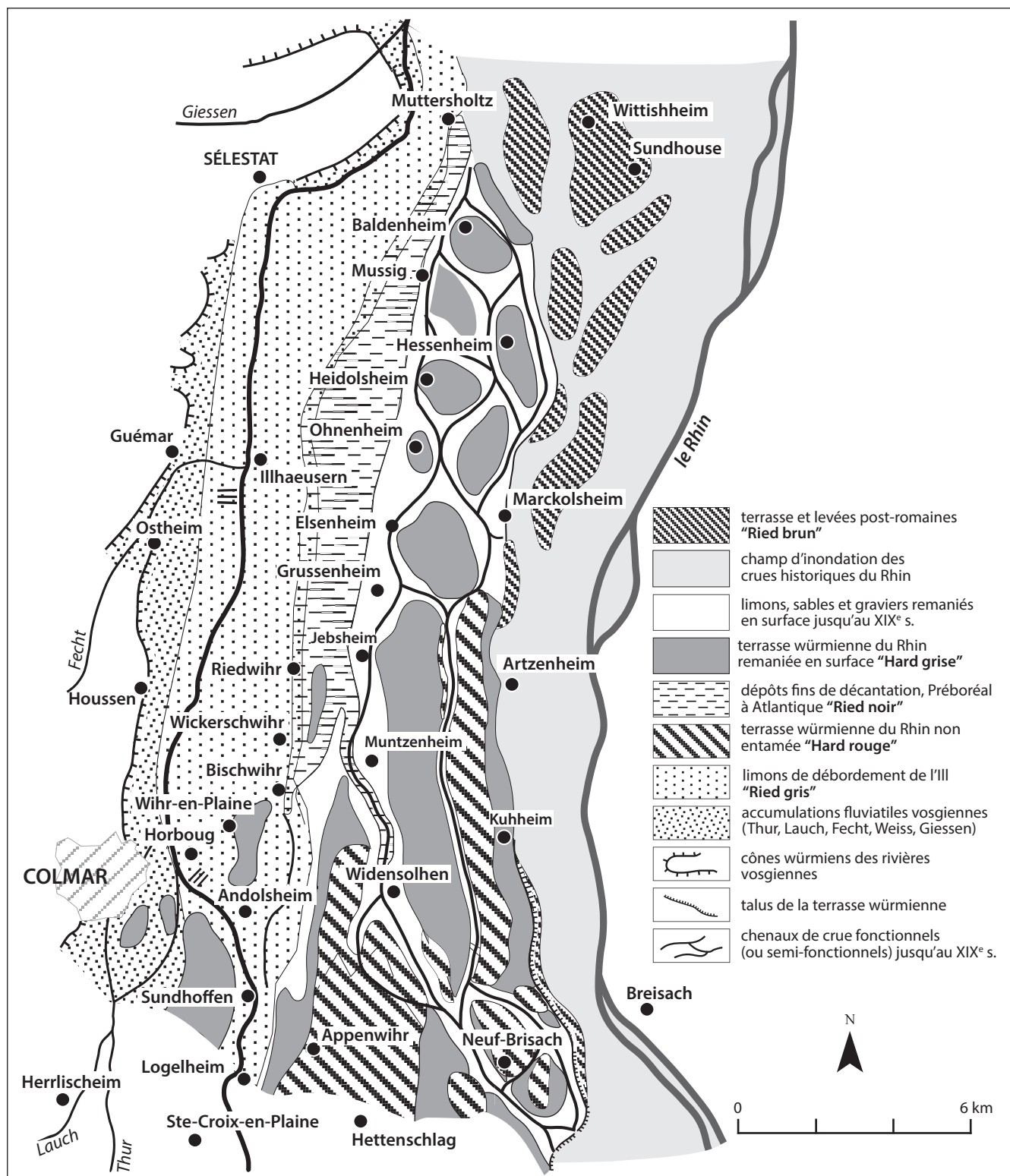


Fig. 4. Carte géomorphologique de la transition entre la terrasse würmienne et les formations du secteur médian de la plaine (Colmar-Sélestat ; d'après HIRTH, 1971, modifié par SCHMITT, 2001). Cette cartographie, fondée sur des investigations non connues précisément (nombre et localisation des carottages, analyses sédimentologiques effectuées, éléments de datation...), a représenté le point de départ des recherches hydro-géomorphologiques récentes.

Bischheim, le cône de déjection de la Zorn, les formations pliocènes de la forêt de Haguenau et les collines marno-calcaires de l'Outre-Forêt. L'encaissement de la plaine alluviale holocène par rapport à ces formations a essentiellement une origine tectonique (VOGT, 1980). Il s'est poursuivi postérieurement au Mindel, voire probablement plus récemment (Ménillet, communication orale ; Vogt, communication orale), mais le facteur hydro-climatique peut évidemment aussi être envisagé de façon secondaire. L'atténuation de la pente explique l'apparition progressive d'un style fluvial à méandres (SCHÄFER, 1973). Le lit majeur était parcouru avant les aménagements par de nombreux méandres (et/ou larges anabranches) du Rhin à longueur d'onde élevée (environ 3 à 4 km, tout comme les méandres sub-actuels rhénans). Ces chenaux constituent depuis que les eaux rhénanes cessèrent de s'y écouler (excepté pendant les submersions) des voies d'écoulement privilégiées pour les rivières allochtones issues des Vosges du Nord (Zorn, Moder, Sauer...), mais aussi pour le cours inférieur de l'Ill en aval d'Eschau (SCHMITT, 2001). Ces paléo-chenaux rhénans présentent depuis leur changement de mode d'alimentation, et donc depuis leur diminution de débits liquide et solide, une dynamique de « contraction ». Striedter (1988a, 1988b) a mis en évidence sept terrasses fluviales holocènes dans ce compartiment de la plaine. Les datations montrent que, depuis la fin du Weichsélien, le Rhin s'est globalement déplacé vers l'est en direction du cours actuel du fleuve, ce qui est globalement confirmé par Schneider (2013).

Plus en aval, de Lauterbourg à Bingen, c'est-à-dire hors de la zone d'étude, s'étend le « secteur à méandres » du Rhin où la division de l'écoulement en chenaux multiples est rare (SCHÄFER, 1973).

3. ÉCHELLE DU COMPARTIMENT MÉDIAN DE LA PLAINE : PRINCIPAUX RÉSULTATS DE RECHERCHES RÉCENTES

3.1. OBJECTIFS

Les résultats présentés dans cette partie concernent les deux tiers sud du paysage appelé localement « Ried Central d'Alsace ». Ce compartiment est compris entre la terrasse würmienne au sud (transect Colmar - Neuf-Brisach) et un transect Benfeld - Rhinau au nord, et le Rhin à l'est et l'Ill à l'ouest. Les recherches menées au cours des dernières années ont visé à :

- reconstituer plus précisément l'évolution holocène de ce secteur de la plaine alluviale, plus particulièrement de son réseau hydrographique. Sur un plan archéologique, cela doit permettre une meilleure compréhension des modalités d'anthropisation et de peuplement de la plaine. Les facteurs de contrôle potentiels, dont il convient d'estimer les poids respectifs et les interactions, sont le soulèvement

diapirique, la néotectonique, l'aggradation d'origine fluviale et les variations climatiques holocènes ;

- en déduire des préconisations de gestion environnementale contemporaine et prospective de la plaine alluviale et de certains de ses cours d'eau. Cet aspect ne sera pas développé dans le présent article, mais il est prévu qu'il le soit dans le futur.

3.2. MÉTHODES

Les principales méthodes mises en œuvre sont résumées ci-dessous. Le lecteur pourra prendre connaissance des détails de chaque méthodologie dans des documents cités :

- étude géomorphologique et chrono-stratigraphique de paléo-chenaux et de leurs bordures (dépôts dans la plaine alluviale) à l'aide de tranchées et, le plus souvent, de carottages manuels, aux fins de reconstituer les déplacements de l'Ill et du Rhin. Une sonde russe a été utilisée pour effectuer des prélèvements dans les unités stratigraphiques riches en matière organique (vase, tourbe...). Les analyses portent notamment sur la morphométrie des chenaux, la caractérisation sédimentologique des remplissages (granulométrie...) et les datations ^{14}C de matière organique, cette dernière étant très abondante (vase et/ou tourbe ; BOËS *et alii*, 2003, 2007 ; WALCZACK, 2013). Les datations radiocarbone ont été complétées au niveau de la plaine alluviale entre les chenaux par des datations par OSL². Ces derniers résultats, compatibles avec ceux présentés ici, seront publiés ultérieurement ;

- étude des minéraux lourds permettant de montrer l'origine, rhénane ou ellane, des sédiments sableux (sables fins transportés en suspension), donc de mieux comprendre les déplacements de ces cours d'eau. Cette méthode très performante a été mise en œuvre sur onze échantillons dans les environs de Mussig (fig. 5) : deux échantillons témoins dans les berges actuelles du Rhin et de l'Ill, deux dans le paléo-chenal de la Blind (prof. 170 et 70 cm ; fig. 6a), six dans deux carottages situés à 34 m et 84 m à l'est du chenal en eau du paléo-chenal de la Blind (prof. 25, 45, 75 cm et 55, 77 et 95 cm, respectivement). Nous intégrerons un résultat récent concernant le paléo-chenal du Hanfgraben (prof. 250 cm ; fig. 6b), qui n'a toutefois pas été intégré dans les résultats statistiques de la figure 5 ;

- exploitation des données topographiques fines de type MNT³ LIDAR disponibles auprès des gestionnaires⁴. La figure de synthèse qui en résulte (fig. 7) a nécessité d'importants traitements géomatiques pour visualiser au mieux les paléo-chenaux (notamment atténuation de l'effet de la diminution altitudinale longitudinale... ; HOUSIER, 2014) ;

2. Opically Stimulated Luminescence.

3. Modèle Numérique de Terrain.

4. Conseil régional d'Alsace, Conseils départementaux du Haut-Rhin et du Bas-Rhin, Pôle d'archéologie interdépartemental rhénan (HOUSIER, 2014).

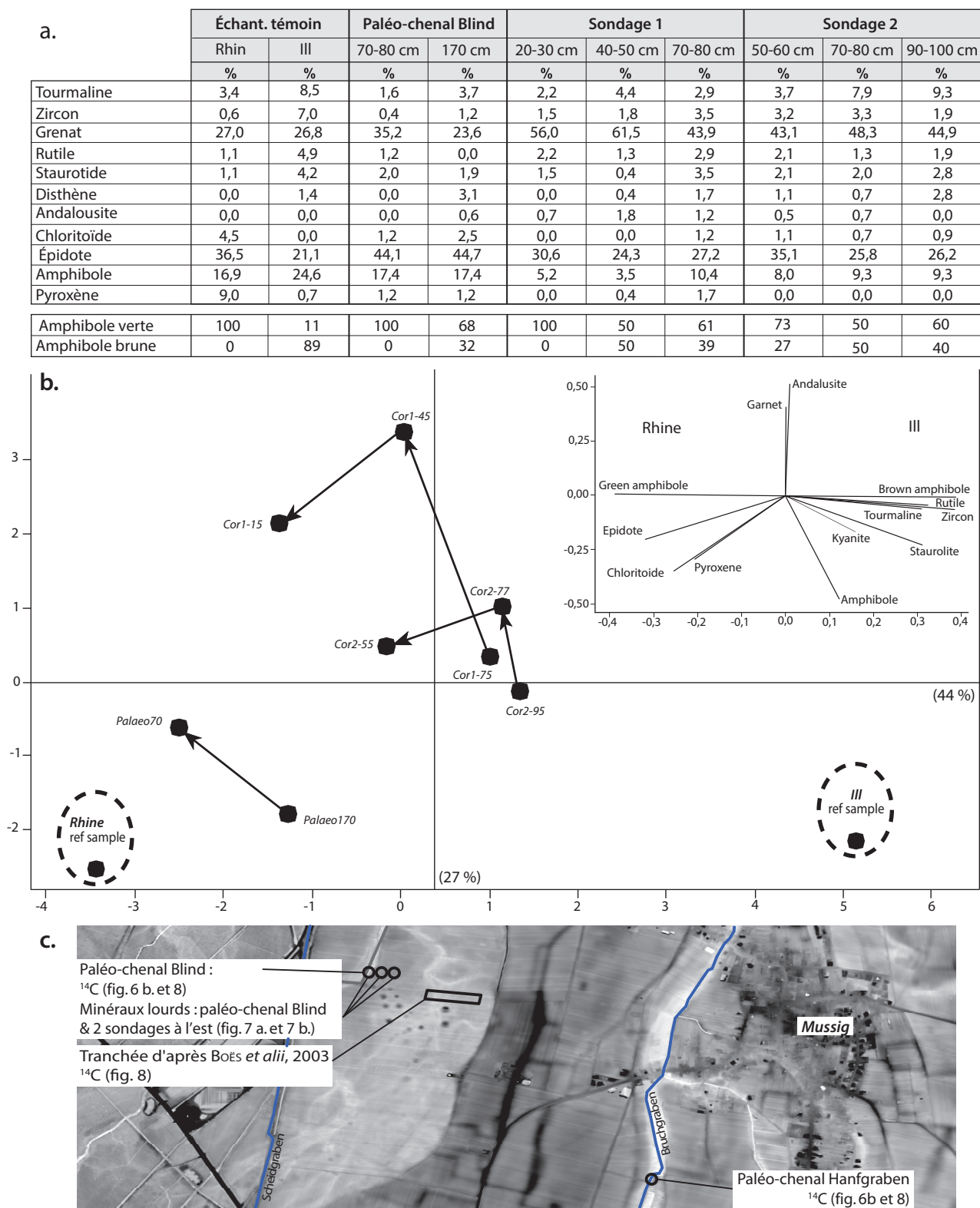


Fig. 5. Résultats de l'étude des minéraux lourds visant à mettre en évidence l'origine des sédiments fins déposés dans la plaine alluviale. **a.** Résultats exprimés en %. **b.** Plan factoriel et cercle des corrélations d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). **c.** Carte de localisation. Ces résultats montrent que dans les environs de Mussig (paléo-chenal de la Blind) et deux sondages respectivement à 34 et 84 m à l'est de ce dernier, l'influence rhénane relative augmente du bas vers le haut dans la sédimentation fine holocène. Ceci est interprété comme un déplacement de l'Ill vers l'ouest antérieurement au déplacement du Rhin vers l'est.

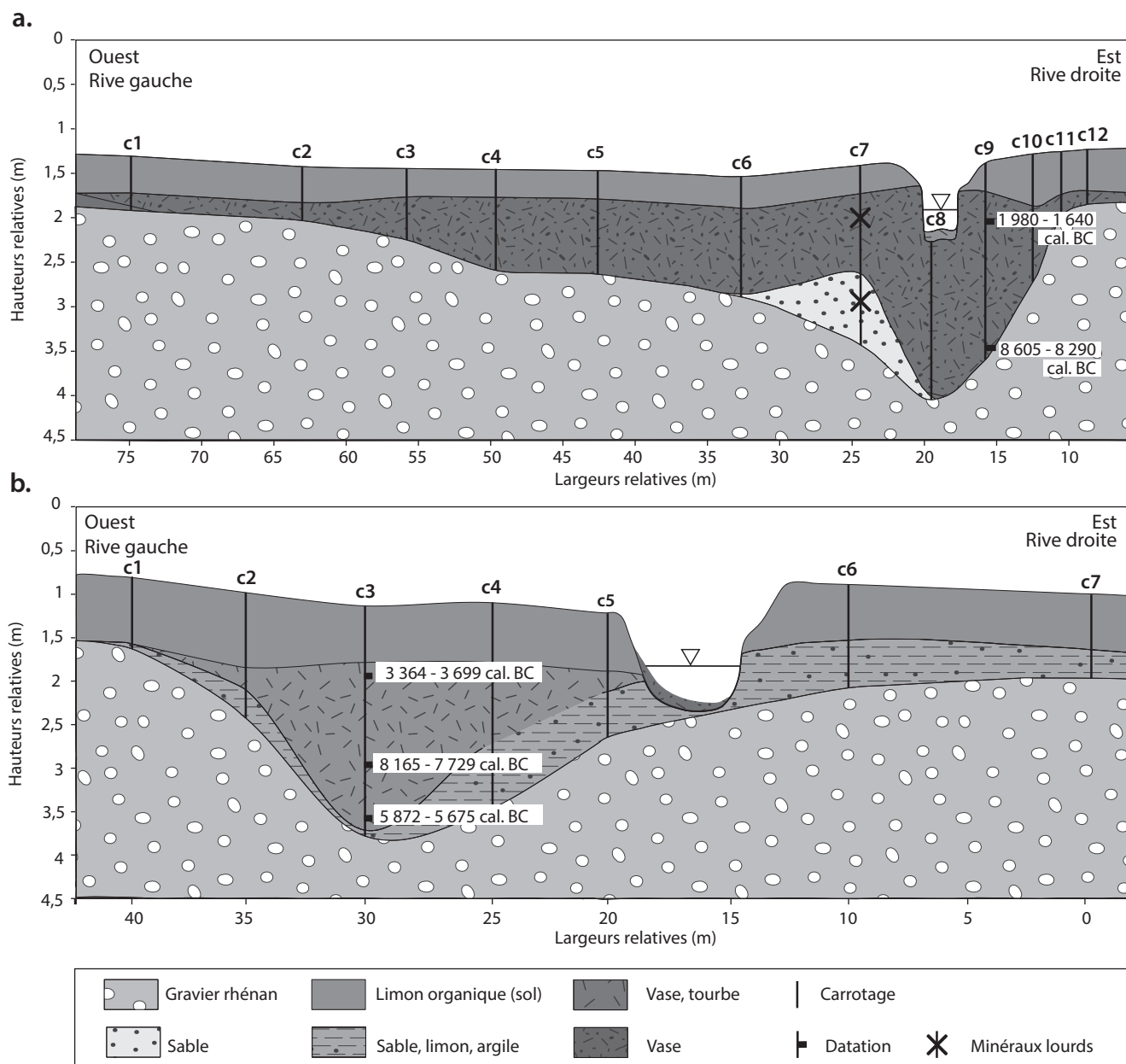


Fig. 6. Morphométrie, type de remplissage et datation de deux paléo-chenaux proches de Mussig (cf. fig. 8). **a.** Le paléo-chenal de la Blind, qui constitue un ancien lit de l'Ill (montré par l'analyse des minéraux, cf. infra) abandonné après une défluviation vers l'ouest. **b.** Le Hanfgraben (un paléo-chenal de tressage du Rhin). Les datations montrent que l'Ill s'est déplacée vers l'ouest avant que le Rhin se soit déplacé vers l'est. Les dépôts de sable, limon et argile dans le paléo-chenal du Hanfgraben montrent que ce chenal a encore été parcouru par des crues élevées après sa déconnexion amont, ce qui n'a pas été le cas pour le paléo-chenal de la Blind.

- analyse fine de cartes anciennes du Rhin (1732, 1757, 1787, 1802, 1828, 1838, 1840), pour comprendre les processus de mobilité latérale du fleuve au cours du siècle précédant le début des aménagements du fleuve (HOUSIER, 2014). La sélection des cartes est fondée sur une analyse comparative multi-critères d'un nombre bien plus élevé de sources documentaires (*ibid.*). Toutes les cartes sélectionnées sur la base de leur valeur informative (en géomorphologie) et leur qualité, ont été numérisées, géo-référencées et digitalisées. Les éléments géomorphologiques digitalisés

sont les suivants (fig. 8) : le « talweg » (lorsqu'il ne figure pas, il a été cartographié par nos soins en suivant le chenal le plus large de l'hydrosystème), la « bande active » (surfaces en eau et bancs) et l'« hydrosystème total » (les limites latérales sont définies par les chenaux anastomosés les plus éloignés connectés au fleuve par l'aval et par l'amont) (*ibid.*). Une enveloppe fluviale supplémentaire intermédiaire entre la bande active et l'hydrosystème total a été rajoutée pour affiner l'analyse : l'« hydrosystème actif » (limites externes définies par des chenaux dont les berges occupées par des

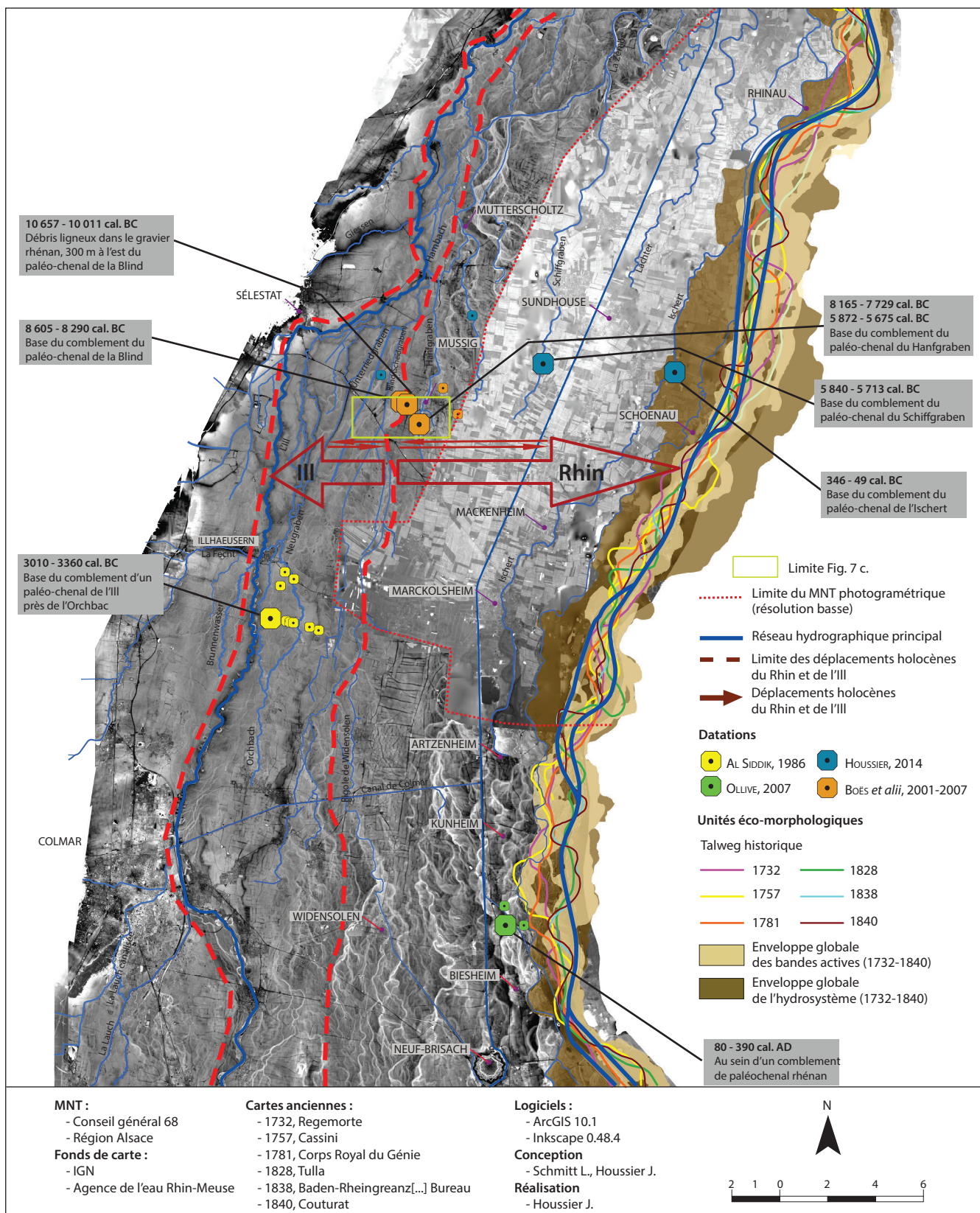


Fig. 7. *Modèle Numérique de Terrain de la plaine alluviale indiquant les datations de paléo-chaenaux obtenues, l'emprise de l'hydrosystème fluvial historique du Rhin et les déplacements latéraux du talweg entre 1732 et 1840, ainsi que le réseau hydrographique principal actuel. Les compartiments considérés comme rhénan (microtopographie marquée) et ellan (microtopographie plus atténuée) sont également indiqués avec le sens des déplacements de l'III vers l'ouest (env. Préboréal) et du Rhin vers l'est (env. Boréal).*

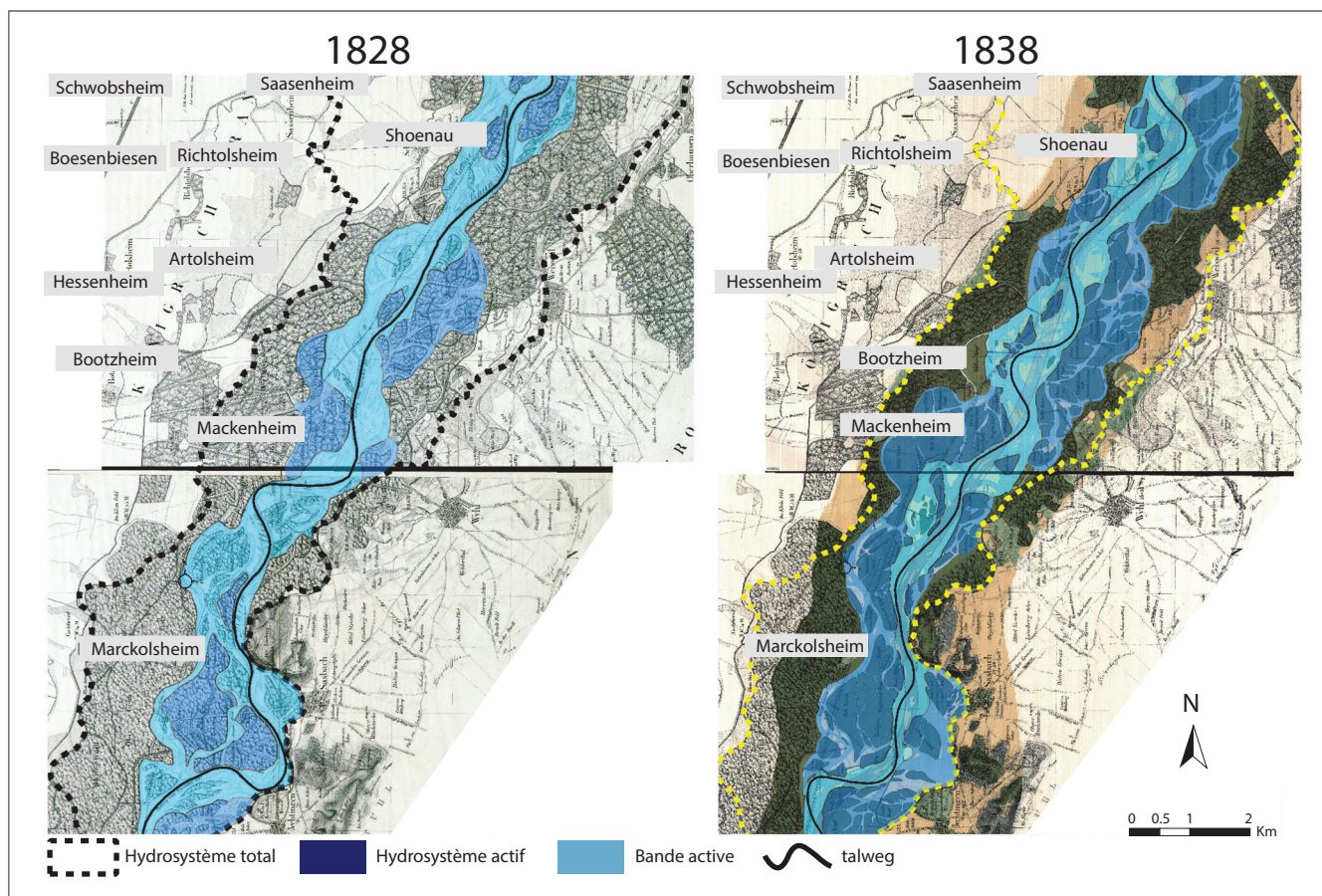


Fig. 8. Aperçu de la mobilité latérale du Rhin entre 1828 (Grossherzogliche Badische Rheingraenzberichtigung Commission, 1828. Topographische Karte des Rheinstromes und seiner beiderseitigen Ufer von Hueningen bis Lauterburg. 18 feuilles. Noir et blanc) et 1838 (Technischen Bureau der gros. bad. Oberdirection des Wasser und Stassenbau's, 1838. Carte über den Lauf des Rheins von Basel bis Lauterbourg längs der badisch-französischen Grenze in 18 Blättern nach dem Zustand des Stromes vom Jahr 1838. Couleurs) dans les environs de Marckolsheim. Si les limites de l'enveloppe globale de l'hydrosystème montrent peu de changements, le talweg et la bande active ont fortement évolué sur la période, alors que cette dernière n'a présenté que de faibles crues inférieures à 4000 m³/s à Bâle (HOUSIER, 2014). La mobilité latérale du talweg est également montrée dans la figure 7 sur la période 1732-1840. Le fleuve a évolué au cours de ces périodes de façon continue par migration latérale, des recoupements, voire des défluviations (au maximum 2 km de largeur et 3 km de longueur). Aucune tendance de migration générale et importante vers l'est ou vers l'ouest n'est visible. Les chenaux anastomosés peuvent être dans certains cas d'anciens chenaux de tressage, comme l'a également montré V. Ollive (2007).

bancs représentent moins de 50 % du linéaire des berges) (*ibid.*, 2014) ;

- analyse palynologique d'échantillons de tourbe ou de vase (tranchée fouillée en 2003, BOËS *et alii*, 2003, prof. de 40-80 cm ; paléo-chenal de la Blind, prof. 170-220 cm) ;

- analyses pédologiques notamment pour tenter d'estimer l'âge des sols en relation avec les datations OSL et la durée de vie moyenne de la matière organique par des datations radiocarbone (environs de Mussig). Cet aspect fera l'objet d'une publication ultérieure ;

- analyse de photographies aériennes verticales disponibles à différentes dates depuis 1950, pour l'identification de paléo-chenaux, la reconnaissance des différents styles fluviaux à l'origine de la construction de la plaine alluviale... (BOËS *et alii*, 2007) ;

- bien entendu, l'ensemble des données paléo-environnementales ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique (ArcGis).

3.3. SYNTHÈSE CHRONOLOGIQUE

Jusqu'au début du Dryas récent, qui correspond à la dernière phase d'accumulation sur la terrasse würmienne (13–11 ka) à Habsheim, situé à quelques kilomètres au sud de Mulhouse (KOCK *et alii*, 2009b), le secteur du Ried Noir était parcouru par des chenaux graveleux tressés rhénans à dynamique latérale très active.

La Blind constitue un paléo-chenal de l'Ill, du début du Préboréal (datation ¹⁴C – fig. 6a et 7 – corroborée par l'analyse des pollens – bas de la carotte C9 de la figure 6a – dont

les résultats ne peuvent pas être présentés en détail ici), qui s'écoulait alors du sud-est de Colmar en direction du nord-nord-est, sans décrire les larges changements d'orientation du tracé actuel de l'III, vers l'ouest à Colmar et vers l'est à Sélestat. Les déplacements généraux de l'III vers l'ouest (des allers-retours sont bien sûr possibles), par défluviations (ou avulsions), à partir du Préboréal peuvent être imputables à la sédimentation alluviale (levées de berges), le soulèvement du diapir dit de « Marckolsheim » qui s'étend du SE de Colmar aux environs de Rhinau (JUNG, SCHLUMBERGER, 1936 ; LUTZ, CLEINTUAR, 1999), ce dernier se soulevant encore aujourd'hui (LIAGHAT *et alii*, 1998), et/ou des mouvements néotectoniques négatifs à l'ouest du Ried noir car le cours actuel de l'III emprunte une « gouttière » subsidente (ou flexure ; H. Vogt, communication orale). Le fait qu'un banc de convexité sableux dans le paléo-chenal (fig. 6a) soit constitué de sables essentiellement ellans (caractérisés par les minéraux lourds ; fig. 5) atteste qu'il s'agit bien d'un paléo-chenal de l'III. De plus, sa largeur est de l'ordre de 50 m et sa profondeur supérieure à 2 m, ce qui est du même ordre de grandeur que les dimensions actuelles de l'III dans le secteur (SCHMITT, 2001), voire de certains bras latéraux du Rhin. La Blind a subi un envasement continu, ou éventuellement interrompu par des phases de réactivation hydro-morphologique secondaires, depuis le Préboréal. Cela implique que ce paléo-chenal ait connu plus de 10 000 ans de fonctionnement à alimentation hydrologique phréatique dominante ! La vitesse moyenne d'envasement du chenal est d'environ 1,3 à 3 cm/siècle, mais cette valeur peut être une sous-estimation car de la vase a pu être exportée partiellement par des eaux de débordement du Rhin (voire de l'III), et/ou par des désenvasements anthropiques, une pratique de gestion de ce type de rivière qui est attestée (Syndicat de l'Ischert, 1846 ; SCHMITT, 2001). Le MNT LIDAR montre des chenaux à plusieurs centaines de mètres plus à l'ouest (fig. 7). Il pourrait s'agir d'autres lits abandonnés par l'III par des avulsions survenues entre l'ancien cours de la Blind (est) et le cours actuel de l'III (ouest), ou dans certains cas de chenaux de crue en cours de formation. Logiquement, les paléo-chenaux de l'III devraient être d'autant plus récents qu'ils sont localisés vers l'ouest, comme le suggère la datation d'un chenal par Al Siddick (1986) au sud d'Illhausern (fig. 7).

Dans le secteur du Ried noir, à moins de 100 m à l'est du chenal de la Blind, les dépôts graveleux tardiglaciaires sont recouverts par des sédiments sablo-limoneux (BOËS *et alii*, 2007) d'origine mixte Rhin-III (minéraux lourds). La preuve d'une sédimentation ellane dans le secteur du Ried noir est nouvelle par rapport aux travaux de Hirth (1971). La couche sablo-limoneuse surmontant le gravier (entre 0 et 30 cm, selon la microtopographie du toit du gravier) est surmontée de limons organiques (0,6 à 0,8 m), ce qui indique une diminution de l'énergie en crue et donc un éloignement du Rhin (BOËS *et alii*, 2007). La formation sablo-

limoneuse est entaillée par des chenaux naturels et fossés anthropiques dont le comblement a commencé au début de notre ère (*ibid.*), ce qui pourrait être lié à une phase de détérioration climatique à cette période, de crues plus intenses et de remontée du niveau piézométrique moyen (BRAVARD, SALVADOR, 2009). Les minéraux lourds prouvent que les limons et sables fins de débordement ont essentiellement une origine rhénane, ce qui indique que les inondations de l'III ne parvenaient plus au Ried noir, donc que l'III s'est déplacée vers l'ouest antérieurement au déplacement du Rhin vers l'est, et n'a plus inondé le Ried noir. Bien entendu, l'importance relative de la sédimentation fine rhénane est aussi à mettre en relation avec l'importante taille du Rhin, en comparaison avec celle de l'III.

Du Préboréal à l'Atlantique ancien (transition Mésolithique - Néolithique) le fleuve s'est déplacé d'environ 3 km vers l'est. La levée de la Hardt grise (fig. 4), sur laquelle se situe le village de Mussig, correspond au tracé d'un ancien cours du fleuve. Ce dernier a poursuivi par la suite sa migration vers l'est, jusqu'aux environs de l'Ischert, du début du Néolithique à La Tène (fig. 7). Pour Oberdorfer (1967), qui se base sur des données palynologiques (lesquelles ne sont malheureusement pas localisées précisément), la sédimentation dans le Ried noir a été continue du Préboréal à l'Atlantique. Ceci est confirmé par nos résultats. Ces données sont compatibles avec les temps de résidence de la matière organique dans les sols du Ried noir et de la Hardt grise (de part et d'autre de Mussig ; SCHMITT, 2010), qui peuvent atteindre 3 200 ans. Ceci démontre que les sols de ces milieux sont anciens, et donc que les sédiments fins dans lesquels ils se sont développés ont été mis en place antérieurement. Le Ried noir est bien isolé du champ d'inondation de l'III par un système de « levées ellanes », comme l'a suggéré Carbiener (1969, 1983), plus exactement par les dépôts mis en place par l'III au fur et à mesure de ses avulsions vers l'ouest.

Concernant le fonctionnement des anastomoses et paléo-anastomoses ello-rhénanes (dénominations locales : *Brunnenwasser*, ce qui signifie « eau de fontaine » en raison de leur alimentation hydrologique dominante phréatique), les investigations qui ont été menées montrent qu'il s'agit de chenaux holocènes de l'III ou du Rhin, plus ou moins anciens selon leur éloignement actuel par rapport à leur cours d'eau d'origine, entaillés dans les graviers rhénans. L'III présente une dynamique à méandres mobiles. Les anastomoses ellanes sont donc d'anciens lits mineurs ellans postérieurs aux avulsions, drainant essentiellement l'aquifère mais pouvant aussi être connectées à l'III pendant les submersions (voire au Rhin pendant les inondations les plus importantes de ce dernier). Concernant les anastomoses d'origine rhénane, il s'agit d'anciens chenaux de tressage, voire d'anciens talwegs du Rhin, partiellement comblés par des sédiments fins et organiques après l'éloignement du fleuve. Il est donc possible de parler, dans le cas du Rhin, de « métamorphose fluviale » entre le

style fluvial à tresses et celui à anastomoses, l'héritage du tressage étant à l'origine du système anastomosé. Ce type d'évolution, qui peut être favorisé par la végétalisation de bancs de la bande de tressage, a aussi été observé sur des périodes plus courtes par Ollive (2007) dans les environs de Neuf-Brisach pour la période 1689-ca.1767, ainsi que par nous-même sur les cartes anciennes du Rhin entre 1732 et 1840 en amont de Breisach (HOUSSIER, 2014). Cette métamorphose fluviale s'accompagne d'un changement du couvert végétal à une échelle de temps infra-séculaire, lequel peut servir de base pour discuter les changements de couvert végétal documentés par la palynologie pour des périodes plus anciennes (OLLIVE, 2007). L'aggradation de part et d'autre des cours d'eau conduit à la formation de levées en bordures des lits mineurs, qui peuvent présenter des brèches à partir desquelles se forme par avulsion un nouveau chenal (ou de nouveaux chenaux) disséquant la plaine. Le lit nouvellement créé devient alors progressivement le lit principal, alors que l'ancien lit devient une anastomose alimentée par le drainage de l'aquifère et les submersions (SMITH *et alii*, 1989; SMITH *et alii*, 1997; TÖRNQVIST, BRIDGE, 2002; MAKASKE *et alii*, 2002). Nous avons également identifié un autre mode de formation d'anastomoses dans la tranchée creusée en 2003 dans le Ried noir de Mussig (BOËS *et alii*, 2003), à savoir la dissection de la plaine alluviale par des chenaux de crue. Cela s'est notamment produit pendant l'Antiquité (et le haut Moyen Âge), où des événements hydrologiques majeurs ont pu survenir (inondations particulièrement étendues, liées le cas échéant à des déplacements latéraux de quelques kilomètres pouvant intensifier localement les flux hydriques). Précisons que nous avons proposé d'employer l'expression «paléo-anastomose» (ou «paléo-défluent»; SCHMITT, 2001; SCHMITT *et alii*, 2007; SCHMITT *et alii*, 2010) lorsque l'anastomose est déconnectée à l'amont du cours d'eau principal et est alimentée principalement par la nappe. Les vitesses de sédimentation, de 1,3 à 3 cm/siècle, sous-estiment sans doute la réalité car, comme nous l'avons évoqué plus haut, des phases d'exportation de la vase ont pu exister, soit par les eaux de débordement de l'III ou du Rhin lors d'inondations particulièrement importantes, soit par des désenvasements anthropiques.

4. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Avec une synthèse des connaissances sur la paléodynamique holocène du Rhin, et dans certains cas de l'III, dans l'ensemble de la plaine d'Alsace et, à l'échelle du compartiment médian de celle-ci, une présentation des résultats récents les plus marquants, cet article réactualise pour l'archéologie les données paléo-environnementales ello-rhénales alsaciennes. Une synthèse sur les inondations anciennes du Rhin est également apportée. Ces connaissances doivent permettre de recadrer les grandes lignes de

l'anthropisation de la plaine rhénane depuis le Néolithique, et de préciser les interactions Homme-Fleuve (et rivières), notamment en fonction de l'histoire des déplacements des bandes actives du Rhin et de l'III. Il est aussi intéressant de montrer comment l'Homme a modifié les hydrosystèmes au cours des derniers millénaires : désenvasements (curages) de chenaux à alimentation dominante phréatique qui peuvent éventuellement expliquer la pérennité de certaines paléo-anastomoses, creusement puis abandon de fossés de drainage (voire d'irrigation) après l'Âge du Bronze et surtout durant l'Antiquité...

Dans le futur, les travaux interdisciplinaires se poursuivront dans différentes directions. Tout d'abord, des campagnes de carottages doivent être réalisées dans d'autres paléo-chenaux de façon à disposer d'un corpus complet de datations et de données géomorphologiques, de l'III au Rhin, mais aussi de l'amont vers l'aval de la fenêtre d'étude du compartiment médian. Un nombre minimum de quatre datations radiocarbone par paléo-chenal consolidera les résultats et permettra d'estimer plus précisément les vitesses de comblement des chenaux. Une attention particulière sera apportée à la mise en évidence des facteurs de contrôle, voire des interactions entre ces derniers : soulèvement diapirique et failles récentes, ce qui requiert notamment des données géophysiques, alluvionnement notamment dans le lit majeur sous la forme de levées de berges, poids des variations hydro-climatiques holocènes, activités anthropiques...

Il est aussi prévu de mener des reconstitutions paléo-écologiques à partir de la matière organique comblant les paléo-chenaux (macrorestes, banques de graines, pollens micro-fossiles non polliniques, voire ADN environnemental...), de façon à mieux comprendre l'histoire du fonctionnement hydrologique de certaines paléo-anastomoses (passage d'un écoulement de surface à une alimentation phréatique dominante, voire à de l'eau stagnante) et à pouvoir établir un modèle d'évolution des paysages végétaux terrestres, naturels et anthropiques, de la plaine d'Alsace (pollens).

Soulignons enfin que l'ensemble des résultats devrait permettre de formuler des préconisations de gestion environnementale de la plaine ello-rhénales, notamment pour ce qui concerne la gestion des paléo-anastomoses à alimentation phréatique, dont la biodiversité et la valeur patrimoniale sont particulièrement élevées (CARBIENER, 1983b), et la question des avulsions de l'III. Notons enfin que des investigations hydromorphologiques à large échelle ont débuté au nord de Strasbourg (secteur des anastomoses et méandres naissants), ainsi que des travaux en commun avec une équipe allemande (University of Freiburg, Institute of Earth and Environmental Sciences, Pr. Franck Preusser, Dr. Claire Rambeau et Dr. Jan-Hendrik May). Pour cela, la base de données transnationale et interdisciplinaire ArkeoGIS (BERNARD *et alii*, 2015) devrait constituer un outil d'une grande utilité.

Remerciements

Les travaux présentés ont été financés par l'ANR Transrisk², le Ministère de la Culture et la Direction Régionale des Affaires Culturelles d'Alsace (financement des Projets Collectifs de Recherche cités), le programme de recherche du CNRS «ARTEMIS», la ZAEU (Zone Atelier Environnementale Urbaine)-LTER et l'entreprise Sablières Helmbacher (Valff, Haut-Rhin). L'accès aux

données LIDAR a été possible grâce au Conseil régional d'Alsace, au Conseil départemental du Haut-Rhin, au Conseil départemental du Bas-Rhin et au Pôle d'archéologie Interdépartemental Rhénan, en particulier M. Florian Basoge. Nous remercions vivement le Pr. Henri Vogt pour des échanges scientifiques particulièrement éclairants et Madame Théa Vogt pour une relecture avisée.

BIBLIOGRAPHIE

- AL SIDDIK M.A., 1986, *Contribution à l'étude de la dynamique de l'humification des sols hydromorphes du Ried Ello-Rhénan (Région d'Illhauesern, Haut-Rhin)*, Thèse de l'Univ. de Nancy I, 95 p.
- ARNAUD F., 2012, *Approches géomorphologiques historique et expérimentale pour la restauration de la dynamique sédimentaire d'un tronçon fluvial aménagé : le cas du Vieux Rhin entre Kembs et Breisach (France, Allemagne)*, Thèse de doctorat, Univ. de Lyon, 280 p.
- BAFU, 2014 = *Hydrologisches Jahrbuch Der Schweiz 2009*, Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, 617 p. (*Reihe Umwelt-Zustand*).
- BEINER M., BERNARD L., BOËS É., ERTLEN D., GEBHARDT A., GOEPP S., GUIBERT P., LASSERRE M., MUNSCHY M., SCHMITT L., SCHWARTZ D., TEGEL W., THOMAS Y., VIGREUX T., 2007, *Paysages et peuplements du secteur ello-rhénan (Région Alsace), entre forçage environnemental et contrôle humain : approche intégrée du Néolithique au Moyen Âge*, Projet Collectif de Recherche, Rapport d'activité annuel 2007 et demande de soutien pour 2008-2010, Strasbourg, SRA d'Alsace, 94 p.
- BERNARD L., ERTLEN D., SCHWARTZ D., 2015, «ArkeoGIS, merging geographical and archaeological datas online», in: GILIGNY F., DJINDJIAN F., COSTA L., MOSCATI P., ROBERT S., dir., *Proceedings of the 42nd Annual Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology, CAA 2014 – 21st Century Archaeology*, p. 401-406.
- BOËS É., LASSERRE M., HAMM E., ALIX G., 2002, «Nouvelle campagne de fouille sur deux tumulus du groupe Sud de Mussig 'Plaetze' (Bas-Rhin)», *Cahiers Alsaciens d'Archéologie d'Art et d'Histoire*, t. XLV, p. 5-18.
- BOËS É., GEBHARDT A., LASSERRE M., SCHMITT L., SCHWARTZ D., HAMM E., ALIX G., GOEPP S., GELLIOT E., EDEL J.B., ARGANT J., 2003, *Mussig (Bas-Rhin) Plaetze, les tumulus du groupe sud : occupation du Ried noir au cours de la Protohistoire*, Rapport de fouille programmée, Strasbourg, Service régional de l'Archéologie d'Alsace, 83 p.
- BOËS É., SCHMITT L., SCHWARTZ D., GEBHARDT A., GOEPP S., LASSERRE M., 2007, «L'anthropisation des zones humides de la plaine d'Alsace au cours de la Protohistoire : problématiques d'études à partir des fouilles menées sur les tumulus de Mussig Plaetze (Bas-Rhin)», in: BARRAL P., DAUBIGNEY A., DUNNING C., KAENEL G., ROULIÈRE-LAMBERT M.-J. dir., *L'âge du Fer dans l'arc jurassien et ses marges : dépôts, lieux sacrés et territorialité à l'âge du Fer*, Besançon, Presses univ. de Franche-Comté, p 113-118 (*ALUB*, 826 - *Environnement, sociétés et archéologie*, 11).
- BRAVARD J.-P., MAGNY M., 2002, *Les fleuves ont une histoire : paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000*, Paris, éd. Errance, 312 p.
- BRAVARD J.-P., SALVADOR P.G., 2009, «Géomorphologie et sédimentologie des plaines alluviales», in: BRAVARD J.-P., NEHLIG P., POUPET P., SALVADOR P.G., WATTEZ J., *La géologie : les sciences de la terre appliquées à l'archéologie*, Paris, éd. Errance, p. 91-126.
- BRIQUET A., 1928, «La terrasse à berge haute du Rhin moyen», *Bull. du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, 1, p. 263-268.
- BURNOUF J., LEVEAU P. dir., 2004, *Fleuves et marais, une histoire au croisement de la nature et de la culture*, Paris, éd. du C.T.H.S., 493 p. (*Archéologie et Histoire de l'Art*, 19).
- BURNOUF J., MUXART T., VILLALBA B., VIVIEN F.D., 2003, «Le passé a de l'avenir: premier bilan de l'appel d'offres 'Histoire des interactions sociétés-milieus' et perspectives de recherches», in: MUXART T., VIVIEN F.D., VILLALBA B., BURNOUF J., *Des milieux et des hommes : fragments d'histoires croisées*, Paris, Elsevier, p. 15-28.
- CARBIENER R., 1969, «Le grand Ried Central d'Alsace, écologie d'un paysage», *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, 1, p. 15-44.
- CARBIENER R., 1983a, «Le grand Ried Central d'Alsace: écologie et évolution d'une zone humide d'origine fluviale rhénane», *Bull. d'Écologie*, 14 (4), p. 249-277.
- CARBIENER R., 1983b, «Brunnenwasser», in: *Encyclopédie de l'Alsace*, Strasbourg, éd. Publital, 2, p. 891-900.
- CARBIENER R., DILLMANN E., 1992, «Cas type de Rhinau-Daubensand: l'évolution du paysage rhénan dans la région de Rhinau, au cœur du secteur des Giessen, des Muhlbach et Brunnenwasser», in: GALLUSSER W.A., SCHENCKER A. dir., *Die Auen am Oberrhein / les zones alluviales du Rhin supérieur*, Bâle, Birkhäuser verl., p. 113-136.
- CARBIENER R., TREMOIÈRES M., 2003, «La ripisylve du Rhin et ses connexions: histoire, évolution naturelle et anthropique», in: PIEGAY H., PAUTOU G., RUFFINONI C. dir., *Les forêts rive-*

- raines des cours d'eau : écologie, fonction et gestion, Paris, Inst. pour le développement forestier, p. 240-271.
- CHAMPION M., 1863, *Les inondations en France depuis le VI^e siècle jusqu'à nos jours*, Paris, Dunod, p. 4-127 (Chapitre XXIX, Bassin du Rhin).
- Commission Internationale de l'Hydrologie du Bassin du Rhin, 1977, *Le bassin du Rhin : monographie hydrologique / Das Rheingebiet : hydrologische Monographie*. 3 vol. : A, Textes, B, Tableaux, C, Cartes et graphiques.
- FRECHEN M., ELLWANGER D., HINDERER M., LÄMMERMANN-BARTHEL J., NEEB I., TECHMER A., 2009, «Late Pleistocene fluvial dynamics in the Hochrhein Valley and in the Upper Rhine Graben: chronological frame», *International Journal of Earth Sciences*, 99 (8), p. 1955-1974.
- GALL J.-C., 1984, «Géologie (de l'Alsace)», in : *Encyclopédie de l'Alsace*, Strasbourg, éd. Publitotal, 6, p. 3306-3324.
- GLASER R., RIEMANN D., SCHÖNBEIN J., BARRIENDOS M., BRAZDIL R., BERTOLI C., CAMUFFO D., DEUTSCH M., DOBROVOLNY P., VAN ENGELEN A., ENZI S., HALICKOVA C., KÖNIG S., KÖNIG O., LIMANOWKA D., MACKOVA J., SGHEDONI M., MARTIN B., HIMMELSBACH I., 2010, «The variability of European floods since AD 1500», *Climatic Change*, 101 (1-2), p. 235-256.
- GREGORY K.J., STARKEL L., BAKER V.R., 1995, *Global Continental Palaeohydrology*, New York, Wiley and Sons, 334 p.
- GREGORY K.J., BENITO G., 2003, *Palaeohydrology, understanding global change*, New York, Wiley and Sons, 396 p.
- HIMMELSBACH I., 2014, *Erfahrung - Mentalität - Management Hochwasser und Hochwasserschutz an den nicht-schiffbaren Flüssen im Ober-Elsass und am Oberrhein (1480-2007)*, Freiburg, Inst. für Umweltsozialwiss. und Geographie, 244 p. (*Freiburger Geographische Hefte*, 73).
- HIRTH C., 1971, «Éléments d'explication à la formation des Rieds ello-rhénans au nord de Colmar du début du post-glaciaire à la canalisation du Rhin au XIX^e siècle», *Bull. de la Soc. d'Histoire naturelle de Colmar*, 54, p. 21-44.
- HOUSIER J., 2014, *Étude hydromorphologique Holocène de la plaine ello-rhénane*, Mémoire de Master 2 Géographie Environnementale, Strasbourg, Faculté de géographie et d'aménagement de Strasbourg, 113 p.
- ILLIES J., GREINER G., 1979, «Holocene movements and state of stress in the Rhinegraben rift system», *Tectonophysics*, 52, p. 349-359.
- JUNG J., SCHLUMBERGER C., 1936, «Soulèvement des alluvions du Rhin par des intrusions salines diapires de Haute-Alsace : déformation de la surface de la basse terrasse du Rhin et tectonique du bassin salifère de Haute-Alsace», *Bull. du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, t. 3, p. 77-86.
- KLEINAS Ch., 2003, *L'évolution du style fluvial du Rhin supérieur de Bâle à Lauterbourg*, Mémoire de maîtrise, Univ. Lyon 2, Univ. Strasbourg 1, 54 p. + ann.
- KOCK S., KRAMERS J.D., PREUSSER F., WETZEL A., 2009a, «Dating of Late Pleistocene terrace deposits of the River Rhine using uranium series and luminescence methods : potential and limitations», *Quaternary Geochronology*, 4 (5), p. 363-373.
- KOCK S., HUGGENBERGER P., PREUSSER F., KRAMERS J.D., WETZEL A., 2009b, «Formation and evolution of the Lower Terrace of the Rhine River in the area of Basel», *Swiss Journal of Geosciences*, 102 (2), p. 307-321.
- LÄMMERMANN-BARTHEL J., NEEB I., HINDERER M., FRECHEN M., 2009, «Last glacial to Holocene fluvial aggradation and incision in the Southern Upper Rhine graben : climatic and neotectonic controls», *Quaternaire*, 20, 1, p. 25-34.
- LE ROUGE G.L., DIEN C., 1802, *Carte topographique du cours du Rhin, depuis le lac de Constance jusqu'à Mayence, contenant l'Alsace divisée en départements et partie du Brisgau : corrigée et augmentée de la nouvelle division du Talweg, d'après le Traité de Luneville, rue du jardinier n° 13, vis-à-vis celle de l'Éperon*, Paris, 1 carte sur 5 feuilles.
- LIAGHAT C., VILLEMIN T., JOUANNE F., 1998, «Déformation verticale actuelle dans la partie sud du fossé rhénan d'Alsace (France)», in : *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 327, p. 55-60.
- LUTZ M., CLEINTUAR M., 1999, «Geological results of a hydrocarbon exploitation campaign in the southern Upper Rhine Graben (Alsace Centrale, France)», *Bull. appl. Geol.*, 4 (Suppl.), p. 3-80.
- MAKASKE B., 2001, «Anastomosing rivers: a review of their classification, origin and sedimentary products», *Earth-Sciences Reviews*, 53, p. 149-196.
- MAKASKE B., SMITH D.G., BERENDSEN H.J.A., 2002, «Avulsions, channel evolution and floodplain sedimentation rates of the anastomosing upper Columbia River, British Columbia, Canada», *Sedimentology*, 49, p. 1049-1071.
- MARTIN B., 2013, «TRANSRISK : analyse interdisciplinaire et transfrontalière de l'histoire des risques d'inondation dans l'espace du Rhin Supérieur : bilan au terme du programme franco-allemand 2008-2011 », in : *Les Actes du Centre de Recherche sur les Économies, les Sociétés, les Arts et les Techniques*, Mulhouse, UHA, p. 119-124 (*Les Actes du CRESAT*, 10).
- MARTIN B., ANSEL R., GUERROUAH O., VITOUX M.-C., WITH L., DRESCHER A., GLASER R., HIMMELSBACH I., SCHÖNBEIN J., 2011, «Géohistoire critique de la crue de janvier 1910 dans le Fossé rhénan (Alsace / Pays de Bade)», *La Houille Blanche*, 1, p. 62-68.
- MARTIN B., DRESCHER A., FOURNIER M., GUERROUAH O., GIACONA F., GLASER R., HIMMELSBACH I., HOLLEVILLE N., RIEMANN D., SCHÖNBEIN J., VITOUX M.C., WITH L., 2015, «Les événements extrêmes dans le fossé rhénan entre 1480 et 2012 : quels apports pour la prévention des inondations ?», *La Houille Blanche*, 2, p. 82-93.
- NANSON G.C., KNIGHTON A.D., 1996, «Anabranching rivers: their cause, character and classification», *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, p. 217-239.
- NIVIÈRE B., GIAMBONI M., INNOCENT C., WINTER T., 2006, «Kinematic evolution of a tectonic wedge above a flat-lying

- décollement: the Alpine foreland at the interface between the Jura Mountains (Northern Alps) and the Upper Rhine graben», *Geology*, 34, 6, p. 469-472.
- OBERDORFER E., 1967, «Systematische Übersicht der westdeutschen Phanerogamen und Gefässkryptogamengesellschaften», *Schriftenr. vegetationskunde*, 2, p. 7-62.
- OLLIVE V., 2007, *Dynamique d'occupation anthropique et dynamique alluviale du Rhin au cours de l'Holocène : géoarchéologie du site d'Oedenburg (Haut-Rhin, France)*, Doctorat en Sciences de la Terre, Dijon, Univ. de Bourgogne, 305 p.
- OLLIVE V., PETIT C., GARCIA J.-P., REDDÉ M., 2006, «Rhine flood deposits recorded in the Gallo-Roman site of Oedenburg (Haut-Rhin, France)», *Quaternary International*, 150, p. 28-40.
- PFISTER C., 1999, *Wetternachhersage : 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496 – 1995)*, Bern, P. Haupt, 304 p.
- PREUSSER F., 2008, «Characterisation and evolution of the River Rhine system», *Netherlands Journal of Geosciences - Geologie en Mijnbouw*, 87, 1, p. 7-19.
- SCHÄFER W., 1973, «Der Oberrhein, sterbende Landschaft», *Natur und Museum*, 103, p. 1-29.
- SCHMITT L., 2001, *Typologie hydro-géomorphologique fonctionnelle de cours d'eau. Recherche méthodologique appliquée aux systèmes fluviaux d'Alsace*, Thèse de Doctorat, Strasbourg, Univ. L. Pasteur-Strasbourg I, 217 p.
- SCHMITT L., 2010, *Dynamique fluviale et gestion environnementale durable des hydrosystèmes : application à une grande plaine alluviale (Rhin-Ill, Alsace) et à un hydrosystème périurbain (Yzeron, Ouest lyonnais)*, Habilitation à Diriger des Recherches, Strasbourg, Univ. de Strasbourg, 296 p.
- SCHMITT L., MAIRE G., HUMBERT J., 2001, «La puissance fluviale : définition, intérêt et limites pour une typologie hydro-géomorphologique de rivières», *Zeitschrift für Geomorphologie*, 45, 2, p. 201-224.
- SCHMITT L., BEINER M., ARGANT J., BOËS É., GEBHARDT A., GOEPP S., 2006a, *Contribution à l'étude de l'évolution holocène du réseau hydrographique du Ried central d'Alsace (Colmar-Sélestat)*, Séminaire Gé_Eau_Graphies 'Formation et évolution des paysages entre Rieds et Vosges : paléo-environnements, archéologie, histoire', UMR 7011, UMR 5600, UMR 7044, 08-09 sept. 2006, Strasbourg.
- SCHMITT L., BOËS É., SCHWARTZ D., GEBHARDT A., GOEPP S., ARGANT J., BEINER M., LASSERRE M., MUNSCHY M., BOUFLANE M., 2006b, «Paléo-dynamique fluviale holocène et anthropisation d'une dépression tourbeuse de la plaine alluviale du Rhin Supérieur (France) : premiers résultats», Poster, International Colloquium: Ol'Man River, Geo-archaeological aspects of rivers and river plains, Working Group on Geo-Archaeology, International Association of Geomorphologists, Ghent, Belgium, 22-24.09.2006.
- SCHMITT L., KLEINAS C., CAROZZA J.-M., PIEGAY H., 2007a, *Longitudinal evolution of the channel pattern of the Rhine between Basel and Lauterbourg before rectification (France - Germany)*, Oral presentation, Meeting of the 'Large Rivers Group' of the International Association of Geomorphology, June 24th - July 1st, Lyon.
- SCHMITT L., MAIRE G., NOBELIS P., HUMBERT J., 2007b, «Quantitative morphodynamic typology of rivers: a methodological study based on the French Upper Rhine basin», *Earth Surface Processes and Landforms*, 32, 11, p. 1726-1746.
- SCHMITT L., TRÉMOLIÈRES M., NOBELIS P., MAIRE G., 2007c, «Complémentarité entre typologies hydro-géomorphologique et biologique de rivières dans l'hydrosystème fluvial ello-rhénan français», in: TRÉMOLIÈRES M., SCHNITZLER A., SILAN P. dir., *Protéger, restaurer et gérer les zones alluviales : pourquoi et comment ? / Floodplain protection, restoration, management : why and how ?* Paris, éd. Tec & doc/Lavoisier, p. 123-136.
- SCHNEIDER N., 2013, «Paléo-dynamique du Rhin au Nord de Strasbourg : apports des diagnostics archéologiques à la connaissance du fonctionnement du fleuve», Communication orale, Séminaire paléo-dynamique fluviale : quels apports pour l'archéologie et la gestion environnementale des hydrosystèmes, UMR 7362 LIVE-Unistra, 11.12.2013, Strasbourg.
- SCHNEIDER N., SCHWIEN J.-J., MIETTON M., 1997, «Le réseau hydrographique de Strasbourg : des cartes anciennes aux données récentes de terrain», in: RACINE P. dir., *Fleuves, rivières et canaux dans l'Europe occidentale et médiane*, Nancy, CRDP Lorraine, p. 11-83.
- SCHÖNBEIN J., GLASER R., HIMMELSBACH I., RIEMANN D., DRESCHER A., MARTIN B., VOGT S., 2012, «Analyse historischer Hochwasserereignisse : ein Beitrag zum transnationalen Hochwasserrisikomanagement», *Berichtsband der 18. Jahrestagung*, Karlsruhe, 15, p. 8-17.
- SCHUMM A., DUMONT J.-F., HOLBROOK J.M. dir., 2000, *Active Tectonics and Alluvial Rivers*, Cambridge, Univ. Press, 276 p.
- SMITH D.G., SMITH N.D., 1980, «Sedimentation in anastomosed river systems: examples from alluvial valleys near Banff, Alberta», *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 1, p. 157-164.
- SMITH N.D., CROSS T.A., DUFFICY J.P., CLOUGH S.R., 1989, «Anatomy of an avulsion», *Sedimentology*, 36, p. 1-23.
- SMITH N.D., MCCARTHY T.S., ELLERY W. N., MERRY C.L., RÜTHER H., 1997, «Avulsion and anastomosis in the panhandle region of the Okavango Fan, Botswana», *Geomorphology*, 20, p. 49-65.
- STARKEL L., SOJA R., MICHCZYŃSKA D.J., 2006, «Past hydrological events reflected in Holocene history of Polish rivers», *Catena*, 66, p. 24-33.
- STRIEDTER K., 1988a, *Holozäne Talgeschichte im Unterelsass*, Dissertation Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, Düsseldorf, Univ. Düsseldorf, 235 p.
- STRIEDTER K., 1988b, «Le Rhin en Alsace du Nord au Subboréal : genèse d'une terrasse fluviale holocène et son importance pour la mise en valeur de la vallée», *Bull. de l'Ass. française de l'Étude du Quaternaire*, p. 5-10.

- Syndicat de l'Ischert, 1846, *Premier procès-verbal du Syndicat de l'Ischert*, 6 p.
- THÉOBALD N., 1948, « Carte de la base des formations alluviales dans le sud du fossé rhénan », *Mémoires du Service de la Carte géologique d'Alsace et de Lorraine*, 9, 78 p.
- TÖRNQVIST T.E., BRIDGE J.S., 2002, « Spatial variation of overbank aggradation rate and its influence on avulsion frequency », *Sedimentology*, 49, p. 891-905.
- VOGT H. dir., 1978, *Géomorphologie et préhistoire dans la région de Strasbourg*, Strasbourg, Ass. Géographique d'Alsace, 145 p. (*Recherches Géographiques à Strasbourg*, 7).
- VOGT H., 1980, *Le relief en Alsace : étude géomorphologique du rebord sud-occidental du fossé rhénan*, Thèse de doctorat, Strasbourg, Fac. de Géographie, éd. Oberlin, 239 p.
- VOGT H., 1984, « Les milieux naturels de l'Alsace », in : HUMBERT J., NONN H., PAUL P., VOGT H., *Toute l'Alsace, la terre et les Hommes*, Wettolsheim, éd. Mars et Mercure, p. 7-37
- WALCZAK E., 2013, *Étude de l'évolution hydrographique holocène de la plaine ello-rhénane*, Mémoire de master 1 Géographie environnementale, Strasbourg, Fac. de géographie et d'aménagement, 61 p.
- WALSER E., 1959, « Le bassin du Rhin à l'amont de Bâle et l'influence des lacs sur le régime du fleuve », *La Houille Blanche*, 14, 2, p. 115-124.
- WERNER L.G., 1928, « Les divagations du Rhin dans le Haut-Rhin », *Bulletin de la Société Industrielle de Mulhouse*, p. 184-193.
- WETTER O., PFISTER C., WEINGARTNER R., LUTERBACHER J., REIST T., TRÖSCH J., 2011, « The largest floods in the High Rhine basin since 1268 assessed from documentary and instrumental evidence », *Hydrological Sciences Journal*, 56, 5, p. 733-758.