

Observations sur la mise en place des sols récents dans la plaine alluviale du Rhône en amont du Léman

Joëlle FARINE, Aline GERBER, Jean-Michel GOBAT, Eric VERRECCHIA

Introduction

Les zones alluviales

Ces deux cents dernières années, les zones alluviales encore dynamiques et intactes, refuges pour de nombreuses espèces végétales et animales, mais aussi zones d'interactions sociales et économiques importantes pour l'homme, sont devenues de plus en plus rares en Suisse et en Europe. Ces zones tampon entre le cours d'eau et le reste de la plaine ont subi de nombreuses et profondes modifications, telles que des endiguements, la construction de barrages et d'infrastructures, des drainages, des déboisements ou encore la transformation en zones agricoles, industrielles ou d'habitation. Ces interventions humaines sont souvent irréversibles. En effet, 90% des zones alluviales de Suisse ont disparu et toute dynamique naturelle a cessé dans 80% des zones restantes¹. On estime même que seul un tiers des zones alluviales

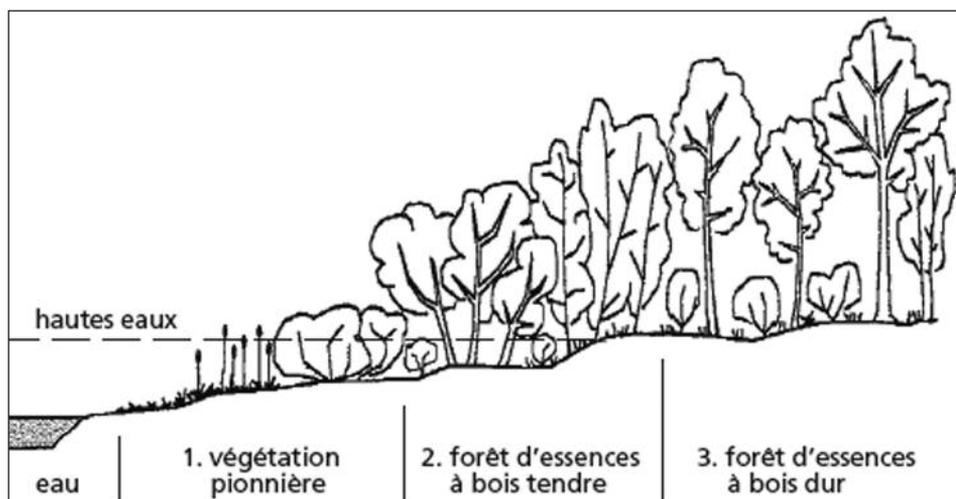


Fig. 1. Les trois milieux naturels principaux d'une zone alluviale, ainsi que la limite supérieure du cours d'eau lors des périodes de hautes eaux (OFEFP, *Les zones alluviales de Suisse*, p. 1).

¹ OFS, *Les zones protégées d'importance nationale et leur utilisation*, Office fédéral de la statistique, Neuchâtel, 2004 (Les cahiers de l'environnement, statistique suisse de l'environnement, 13).
OFEFP, *Les zones alluviales de Suisse*, Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage, Berne, 2005.

d'importance nationale présentent encore un régime dynamique d'érosion et de sédimentation².

D'un point de vue géodynamique, les plaines alluviales sont caractérisées par une mosaïque de dépôts sédimentaires variés. La nature de ces dépôts, ainsi que leur emplacement et leur importance, dépendent principalement de la puissance des crues (vitesse du courant et hauteur d'eau) et de la distance par rapport au cours d'eau. Les connexions latérales de la plaine avec le fleuve ou la rivière sont essentielles pour le fonctionnement et l'intégrité d'une plaine alluviale³. Lors des crues, le cours d'eau peut modifier son tracé et déposer des sédiments, ce qui influence considérablement les sols et la végétation. Avec le temps se crée une mosaïque de milieux: des graviers nus ou accompagnés d'une végétation pionnière, des pelouses steppiques, des forêts alluviales, des bras morts (Fig. 1). Cette richesse d'habitats va de pair avec une diversité exceptionnelle d'espèces végétales et animales. En effet, au moins 1200 espèces de plantes ont été recensées dans ces zones, ce qui correspond à 40% des espèces végétales connues sur le territoire helvétique⁴. Lors d'un endiguement, la plaine alluviale se retrouve isolée et déconnectée du cours d'eau, ce qui empêche la sédimentation. L'impact est important pour l'évolution des sols, de la faune et de la végétation, car dans une zone alluviale, ces derniers dépendent des sédiments déposés par les crues et de l'effet de rajeunissement sur le milieu.

L'utilisation du sol dans la plaine du Rhône en Valais a subi elle-même de profondes mutations. Plusieurs travaux cartographiques⁵, ainsi que le travail de documentation historique de Posse⁶ montrent les changements intervenus dans l'affectation du sol de la plaine du Rhône depuis 1850. Avant la Première correction du Rhône initiée en 1863, la plaine était dominée et marquée par la dynamique du fleuve. Les zones agricoles constituaient déjà 70% de la surface de la plaine, les zones sous l'emprise du fleuve (cours d'eau et zone alluviale) 10%, les forêts 10% et les zones marécageuses 10%⁷. L'endiguement du Rhône, le drainage des terres, l'assèchement de la plaine, ainsi que les nouveaux moyens techniques développés suite à la révolution industrielle ont appauvri et morcelé des milieux naturels précédemment riches et variés. Les zones alluviales, marécageuses et forestières ont été les plus touchées: elles ont perdu respectivement 95%, 85% et 48% de leur surface entre 1850 et 2003, pour être transformées essentiellement en terres agricoles⁸. Dans le

² Jean-Daniel GALLANDAT, Jean-Michel GOBAT, Christian ROULIER, *Cartographie des zones alluviales d'importance nationale. Rapport général*, OFEFP, Berne, 1990.

³ Martin C. THOMS, «Floodplain-river ecosystems: lateral connections and the implications of human interference», dans *Geomorphology*, 56 (2003), p. 335-349.

⁴ GALLANDAT, GOBAT, ROULIER, *Cartographie des zones alluviales*; OFEFP, *Les zones alluviales de Suisse*.

⁵ Bertrand POSSE, *Éléments d'écologie paysagère en plaine du Rhône (Valais, Suisse): de l'endiguement du fleuve à nos jours*. Travail de diplôme, Université de Neuchâtel, 1997; Elodie PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages de la plaine du Rhône sur la base d'une analyse spatiale de cartes historiques*, Travail de diplôme postgrade, EPFL, Lausanne, 2004; Sabine STÄUBLE, Emmanuel REYNARD, «Evolution du paysage de la plaine du Rhône dans la région de Conthey depuis 1850. Les apports de l'analyse de cartes historiques», dans *Vallesia*, 60 (2005), p. 433-456; Flavio ZANINI *et al.*, «Analyse de la dynamique du paysage de la plaine du Rhône de 1850 à 2003 sur la base de cartes topographiques», dans *Bulletin de la Murithienne*, 124 (2006), p. 89-98.

⁶ POSSE, *Éléments d'écologie paysagère*.

⁷ PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*.

⁸ PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*.

même temps, la surface des zones urbanisées a augmenté de 650%, surtout après 1950. La plaine du Rhône est donc actuellement dominée par les zones agricoles et résidentielles; la surface occupée par le Rhône et sa zone alluviale active ne représente plus qu'environ 1% de la plaine.

Les sols en zones alluviales

Les sols alluviaux se trouvent dans les plaines inondées par un cours d'eau, généralement à proximité de la rivière ou du fleuve, et sont formés par le dépôt de sédiments. Ils sont constitués d'une succession de couches minérales, issues de dépôts de crue, et de couches de matière organique, quelquefois enfouies. Ces dernières correspondent aux périodes de stabilité, lorsqu'aucun nouvel apport sédimentaire n'est amené par le cours d'eau pendant un certain temps. Dans ce cas, les couches supérieures du sol s'enrichissent en matière organique, puis évoluent, si la période de stabilité est suffisamment longue, vers un véritable horizon organo-minéral bien structuré. A la base de ces sols se trouve une couche composée de matériaux grossiers: la grève alluviale. Cette couche correspond au lit du cours d'eau. Un sol alluvial est donc un mille-feuille de minéraux et de matière organique.

But de l'étude

Dans l'étude d'une plaine alluviale, les sols sont une mine d'informations concernant la dynamique alluviale générale, crues, dépôts sédimentaires et périodes de stabilité y constituant de véritables archives des phénomènes. L'étude des couches composant les sols permet ainsi de décrire certains événements passés, tout particulièrement les changements du milieu et les facteurs influençant leur formation, au même titre qu'une étude historique.

Le but de ce travail⁹ est l'étude spatiale et temporelle de la dynamique alluviale passée de la plaine du Rhône supérieur au travers de l'étude de ses sols. Il se divise en trois parties principales: la typologie des groupes de sols, l'étude de la dynamique de leur mise en place et enfin l'intégration des résultats à travers la cartographie.

La classification des sols permet d'interpréter la dynamique alluviale existant avant l'endiguement, puis l'impact de celui-ci, et ceci tant à l'échelle de la fosse pédologique¹⁰ qu'au niveau de la plaine en général. La combinaison de l'étude sédimentologique des différents dépôts reposant sur la grève alluviale, de l'étude des horizons de surface, ainsi que de celle des horizons organiques enfouis permet de décrire les périodes d'instabilité et de stabilité des sols de la plaine. Il est ainsi possible d'identifier les facteurs qui ont influencé ces dépôts et donc l'environnement dans lequel les sédiments ont été déposés et dans lequel les sols ont évolué. L'évolu-

⁹ Cet article retrace les grandes lignes et les conclusions d'un mémoire de master en biogéosciences soutenu à l'Université de Neuchâtel (Joëlle FARINE, Aline GERBER, *Dynamique de mise en place des sols en plaine alluviale du Rhône supérieur*, Université de Neuchâtel, 2008).

¹⁰ Fosse creusée dans le but d'étudier le sol, c'est-à-dire la couverture pédologique (AFES, *Référentiel pédologique. Techniques et pratiques*, Paris, 1995).

tion et l'état actuel des sols, ainsi que les facteurs influençant aujourd'hui leur formation sont également abordés. La synthèse cartographique des résultats s'appuie sur des cartes historiques et d'utilisation du sol¹¹. Les cartes obtenues constituent un excellent outil pour la compréhension de la dynamique alluviale passée et récente de la plaine alluviale du Rhône.

Situation géographique

Le bassin versant du Rhône supérieur couvre une superficie de 5220 km². Le 93,6% de cette surface est compris dans les limites du canton du Valais, le reste se trouvant sur sol vaudois¹². Le Rhône lui-même parcourt 163 km de sa source jusqu'à l'embouchure dans le Lac Léman et reçoit 295 émissaires, dont les deux plus importants sont la Dranse et la Viège. La plaine alluviale représente 5% de la surface du bassin versant, soit 261 km². La zone d'étude couvre toute cette surface, mais est concentrée plus particulièrement le long du cours du Rhône entre Brigue et Martigny. Le régime hydrologique naturel du Rhône est de type nivo-glaciaire, avec des débits forts en été, lors de la fonte des neiges et des glaces, et faibles pendant les périodes hivernales¹³.

La géologie de la région est très complexe puisque trois formations alpines principales se côtoient¹⁴: les Alpes externes (l'Helvétique) au Nord du Rhône, les Alpes internes (le Pennique) au Sud du Rhône, et les Alpes méridionales et orientales (l'Austroalpin ou nappe de la Dent Blanche en Valais) sur les sommets cristallins du Sud. Ces formations ont des âges, des origines géologiques et des histoires différents. 75% de la surface du bassin versant sont composés de roches cristallines et métamorphiques, 20% de roches sédimentaires et 5% de dépôts quaternaires¹⁵.

Matériel et méthode

Groupes de sols

Les sondages à la tarière représentent un moyen pratique, peu coûteux et bien adapté à la description des sols d'une manière générale. Dans ce travail, la classification des sols a été effectuée en suivant la méthode développée par Bullinger-Weber et Gobat¹⁶ dans le cadre d'une étude des sols de la plaine alluviale de la Sarine (Suisse). Cette méthode est fondée sur la description de la succession verticale des

¹¹ PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*.

¹² Ignace MARIÉTAN, «Le Rhône en Valais. Lutte entre l'homme et le fleuve», dans *Revue pour l'étude des calamités*, (1943), p. 51.

¹³ Charles DE TORRENTE, Arnold DE KALBERMATTEN, *La correction du Rhône en amont du lac Léman*, Berne, 1964.

¹⁴ Marcel BURRI, *Les roches*, Martigny, 1994; Michel MARTHALER, *Le Cervin est-il africain? Une histoire géologique entre les Alpes et notre planète*, Lausanne, 2002.

¹⁵ DE TORRENTE, DE KALBERMATTEN, *La correction du Rhône*.

¹⁶ Géraldine BULLINGER-WEBER, Jean-Michel GOBAT, «Identification of facies models in alluvial soil formation: the case of a Swiss alpine floodplain», dans *Geomorphology*, 74 (2006), p. 181-195.

couches sédimentaires et des horizons d'un sondage à la tarière. En multipliant le nombre de relevés, il est possible de décrire les sols alluviaux et leurs propriétés sur une grande surface telle qu'une plaine alluviale. Cette méthode a pour objectif de grouper tout d'abord les horizons, puis les sols. Ces groupes sont des abstractions statistiques obtenues à partir des caractères des sols observés sur le terrain.

Les sondages ont été effectués au printemps 2007, dans huit stations réparties entre Selkingen et Martigny (Fig. 2). Ils ont été effectués en choisissant des endroits potentiellement variés au niveau de la dynamique alluviale actuelle et passée, de manière à illustrer au mieux la variabilité des sols, tout en tenant compte de critères du paysage: utilisation agricole du sol, éloignement par rapport au fleuve, présence de boisements et topographie. Le traitement statistique des données a été réalisé en deux parties. La première consiste en une analyse des caractères des horizons et des couches sédimentaires (analyse des correspondances multiples ou ACM), et la deuxième en une analyse des caractères des sondages (analyse factorielle des correspondances ou AFC). Pour terminer, les sondages ont été groupés à l'aide d'une classification ascendante hiérarchique sur facteurs (CAH). Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel SPAD, version 6.0.

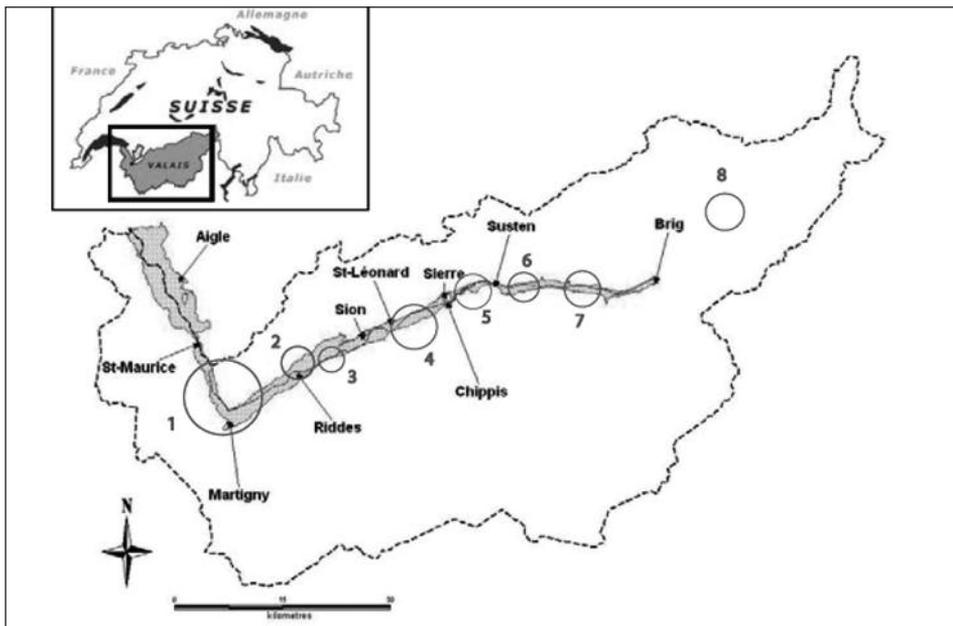


Fig. 2. Canton du Valais et plaine du Rhône (en gris clair). Les sondages ont été effectués dans huit stations (1: Martigny; 2: Saillon; 3: Aproz; 4: Sierre; 5: Finges; 6: Tourtemagne; 7: Rarogne; 8: Selkingen), dont sept se trouvent dans la plaine du Rhône et la huitième en amont de Brigue. Pourtour de la plaine alluviale du Rhône selon PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*, p. 13).

Granulométrie

L'analyse granulométrique des sédiments permet d'appréhender localement les conditions physiques du milieu contemporain au dépôt, puisque la taille et la répartition des particules dépendent de la dynamique fluviale. En pratique, l'analyse granulométrique consiste, par tamisage sec ou humide, à séparer en différentes fractions les particules minérales d'un échantillon prélevé dans un dépôt sédimentaire. Les limites de classes choisies dans ce travail sont issues d'une progression mathématique de facteur 2 qui permet de faciliter la représentation graphique des résultats¹⁷. Le protocole de laboratoire utilisé a été élaboré sur la base des travaux de Chalu-meau¹⁸.

Le résultat de l'analyse granulométrique d'un dépôt sédimentaire est exprimé par la valeur de chaque fraction en pourcents. Il est possible alors d'esquisser des courbes granulométriques sur 16 intervalles. Or, les courbes doivent être lissées (sur 100 intervalles) pour pouvoir obtenir la valeur des indices granulométriques. Les données ont été traitées au moyen du logiciel Matlab® (version 7.4) afin de pouvoir être représentées graphiquement de manière satisfaisante et pour calculer les indices granulométriques. Cela a permis d'obtenir deux types de représentations: simples (en deux dimensions) et complexes (en deux dimensions et demi).

Les courbes granulométriques simples, l'évolution de la texture en fonction de la profondeur et les indices donnent de bonnes indications sur les caractéristiques sédimentaires d'un échantillon. Le besoin de représenter en détail la distribution des particules en fonction de la profondeur pour un profil pédologique complet a toutefois nécessité la réalisation de «PSD plots»¹⁹ («Particle Size Distribution plots»), un mode de représentation complexe ouvrant la voie à une interprétation plus complète des résultats.

Micromorphologie

La micromorphologie des sols permet d'observer un échantillon de sol au niveau micrométrique et révèle ainsi des objets qui ne sont pas visibles à l'œil nu²⁰. Le pouvoir séparateur du microscope optique permet de voir des objets de 2 à 10 µm pour une lame d'une épaisseur de 20-25 µm²¹. Cette discipline a été développée par Kubiena²², un pédologue autrichien qui présenta ses premières observations en 1935²³. La description de la structure du sol et des restes organiques visibles sur les

¹⁷ Francis John PETTIJOHN, Paul Edwin POTTER, Raymond SIEVER, *Sand and Sandstone*, New York, 1987.

¹⁸ Laurent CHALUMEAU, *Etude stratigraphique de la séquence sédimentaire du site archéologique de Marin-Les Piécettes (NE)*, Institut de géologie, Université de Neuchâtel, Rapport non publié, 2003.

¹⁹ Brandon D. BEIERLE *et al.*, «A new method for visualizing sediment particle size distributions», dans *Journal of Paleolimnology* 27 (2002), p. 279-283.

²⁰ Georges STOOPS, *Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin sections*, Madison, 2003.

²¹ Marie-Agnès COURTY, Nicolas FEDOROFF, «Micromorphologie des sols et sédiments archéologiques», dans Jean-Claude MISKOVSKY (éd.), *Géologie de la Préhistoire: méthodes, techniques, applications*, Paris, 2002, p. 511-554.

²² Walter L. KUBIENA, *Micropedology*, Ames, 1938.

²³ Joseph RUSEK, «Soil microstructures. Contributions on specific soil organisms», dans *Quaestiones Entomologicae*, 21 (1973), p. 497-514; STOOPS, *Guidelines*.

lames permet d'interpréter de manière fine le fonctionnement du sol actuel ou de sols enfouis et ainsi de reconstituer l'environnement contemporain à la mise en place de ces sols.

Les échantillons destinés à la confection de lames minces de sol sont prélevés directement dans la face de la fosse pédologique à l'aide d'une boîte dite «de Kubierna²⁴». De retour au laboratoire, un échantillon de plus petite taille est prélevé dans la partie interne du matériel récolté. Il est tout d'abord lyophilisé, afin de le dessécher complètement sans modifier sa structure interne, puis induré. Une lame de 30 µm d'épaisseur est préparée pour chaque échantillon. La description des lames, ainsi que la présentation des résultats, suivent les recommandations proposées par Stoops²⁵.

Matière organique

Les stocks de matière organique sont de bons indicateurs de l'évolution des sols jeunes, ce qui est particulièrement intéressant en zones alluviales²⁶. La description de leur fragmentation par la faune du sol permet de décrire la dynamique des sols en évolution et le milieu dans lequel se trouvent les horizons étudiés²⁷.

Les échantillons sont séchés, pesés et préparés pour leur caractérisation en laboratoire. L'analyse de la perte au feu permet d'estimer la quantité de matière organique contenue dans le sol. Pour ce faire, l'échantillon de sol séché à l'air est brûlé à 450°C pendant 4 heures (à partir du four froid), puis refroidi en dessiccateur avant d'être pesé. La granulométrie organo-minérale par tamisage humide permet de comparer le fractionnement de la matière organique entre les différents horizons. L'échantillon est tamisé en 5 fractions: 0-5 µm, 5-50 µm, 50-100 µm, 100-200 µm, 200-2000 µm. Le carbone organique (C_{org}) est ensuite dosé par pyrolyse Rock-Eval sur chaque fraction obtenue. La méthode de pyrolyse Rock-Eval permet d'obtenir le carbone organique total (COT, en % pondéral) de l'échantillon²⁸. Pour chaque échantillon, le carbone organique est mesuré et exprimé en mg/g de sol.

²⁴ KUBIENA, *Micropedology*.

²⁵ STOOPS, *Guidelines*.

²⁶ Guy PAUTOU, «L'organisation des forêts alluviales dans l'axe rhodanien entre Genève et Lyon; comparaison avec d'autres systèmes fluviaux», dans *Documents de Cartographie Ecologique*, 27 (1984), p. 43-64; Marlyse FIERZ, Jean-Michel GOBAT, Claire GUENAT, «Quantification et caractérisation de la matière organique de sols alluviaux au cours de l'évolution de la végétation», dans *Annales des Sciences Forestières*, 52 (1995), p. 547-559.

²⁷ Sylvain BRUCKERT, *Analyse des complexes organo-minéraux des sols. Pédologie 2. Constituants et propriétés du sol*, Paris, 1994, p. 275-296; FIERZ, GOBAT, GUENAT, «Quantification et caractérisation de la matière organique»; BALEDENT *et al.* «The dynamics of carbon in particle-size fractions of soil in a forest-cultivation sequence», dans *Plant and Soil*, 201 (1998), p. 49-57; John D. WIGGINTON, B. Graeme LOCKABY, Carl C. TRETTIN, «Soil organic matter formation and sequestration across a forested floodplain chronosequence», dans *Ecological Engineering*, 15 (2000), p. 141-155.

²⁸ Jean ESPITALIÉ, Gérard DEROO, François MARQUIS, «La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. 1^{re} partie», dans *Revue de l'Institut Français du Pétrole*, 5 (1985), p. 563-579.

Résultats

Groupes de sols

90 sondages à la tarière ont été effectués dans les huit stations de la plaine. D'après les analyses statistiques des horizons et couches sédimentaires, 30% de la variance est expliquée par les trois premiers facteurs de l'ACM. Les variables significatives pour les premiers facteurs sont, dans l'ordre d'importance: la présence de matériaux grossiers, d'un horizon de labour, de sables moyens, de sables fins, l'épaisseur, la présence de taches d'oxydo-réduction, et enfin de limons. Les horizons sont classés en huit groupes caractérisés principalement par la texture, c'est-à-dire par la taille apparente des particules. Quant à l'analyse statistique des sondages, 55% de la variance est expliquée par les trois premiers facteurs de l'AFC. Une classification en 5 groupes a été retenue (Fig. 3). Le groupe 1 est caractérisé par un faible nombre d'horizons par mètre, une texture plutôt fine et la présence d'un horizon de labour en surface, le groupe 2 par la présence d'un horizon de labour et de matériaux grossiers, le groupe 3 par la présence de matériaux et de sables grossiers, le groupe 4 par un nombre élevé d'horizons par mètre et la présence d'horizons sableux fins de faible épaisseur, le groupe 5, enfin, par la présence de macrorestes organiques enfouis et d'horizons argileux de faible épaisseur.

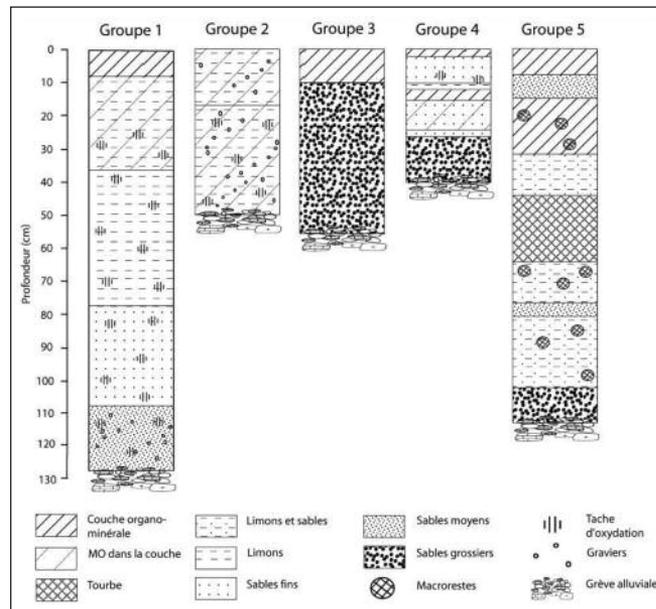


Fig. 3. Groupes de sols n° 1 à 5 décrits selon les sondages à la tarière effectués sur le terrain. Les groupes de sols sont obtenus par classification des horizons et des couches sédimentaires, puis par classification des sols.

Dynamique de mise en place

Granulométrie

Pour des raisons de simplification, seuls les résultats granulométriques de deux des cinq profils pédologiques sont présentés ici, ceux de Rarogne (P3, Fig. 4) et de Tourtemagne (P4, Fig. 5). Il en sera de même dans la discussion sur les apports cartographiques. Ces deux profils illustrent au mieux l'impact combiné du fleuve et de l'être humain sur les sols de la plaine.

Le profil P3 est profond de 95 cm, avec 13 couches successives. Il a enregistré au moins 8 dépôts sédimentaires, divisés en deux parties: de 95 à 40 cm (7 occurrences) et de 40 à 0 cm (une occurrence). On note deux tendances: l'épaississement des dépôts homogénéisés récents et l'augmentation de la taille des particules vers le haut du profil.

La succession des 50 couches du profil P4 est répartie sur 164 cm de profondeur, en trois grandes séquences: une première de 164 à 90 cm (au moins cinq dépôts limoneux fins d'une épaisseur moyenne de 20 cm), une deuxième de 90 à 40 cm (plusieurs dizaines d'événements limoneux fins d'épaisseur centimétrique) et une dernière de 40 à 0 cm (de une à trois phases de sédimentation sablo-limoneuse d'épaisseur décimétrique à pluri-décimétrique).

Micromorphologie

Deux lames minces (Fig. 6 et 7) illustrent la présence de matière organique dans des horizons de profondeur. Elles ont toutes deux été prélevées dans un sol de la station de Martigny. La première provient d'un horizon enfoui à 146 cm. On y observe de nombreux agrégats organo-minéraux composés de matériel minéral fin et de matière organique amorphe se trouvant entre les grains minéraux de la taille des sables. Plusieurs résidus cellulaires et tissulaires de végétaux, ainsi que de nombreuses boulettes fécales sont également présents sur cette lame.

La seconde lame mince provient d'un horizon enfoui à 175 cm. Elle contient de nombreuses coupes d'organes et de tissus végétaux, notamment une importante quantité de coupes de feuilles empilées, ainsi que des boulettes fécales et des agrégats organo-minéraux.

Matière organique

Le carbone organique contenu dans les échantillons varie de 77,4 mg/g de sol pour l'échantillon contenant le plus de C_{org} , à 1,4 mg/g de sol pour celui qui en contient le moins (Fig. 8). La distribution du C_{org} dans les cinq fractions granulométriques présente de grandes variations entre les échantillons. La fraction 5-50 μ m, correspondant à la taille des microagrégats, contient entre 45 et 60% du C_{org} dans six échantillons, provenant d'horizons de labour pour quatre d'entre eux (Saillon, Rarogne-surface, Tourtemagne-surface et Martigny-surface), d'un horizon de profondeur contenant très peu de matière organique (Rarogne-50 cm) et enfin d'un horizon de profondeur contenant 1,1% de matière organique (Martigny-146 cm).

En revanche, deux échantillons se distinguent par une proportion importante de C_{org} dans les fractions grossières: l'échantillon de Martigny enfoui à 175 cm contient 61% du C_{org} dans les fractions $>100 \mu m$ dont 30% dans la fraction 2000-200 μm , et l'échantillon de Selkingen contient 65% du C_{org} dans les fractions $>100 \mu m$ dont 44% dans la fraction 2000-200 μm . L'échantillon provenant de Sierre se situe entre les deux extrêmes avec 50% du C_{org} dans les fractions $>100 \mu m$, dont 18% dans la fraction 2000-200 μm .

Cartographie

Les synthèses cartographiques (Fig. 9-12) ont été réalisées au moyen d'un système d'information géographique (SIG). Deux types de fonds de carte ont été utilisés. Le premier est une copie numérisée et géoréférencée d'une carte au 1:5000 datant de 1802, qui couvre la zone d'étude de Brigue au Bouveret (Fig. 9 et 11). Appelée plan Napoléon, cette carte avait pour objectif à l'époque de sa réalisation de proposer au gouvernement français les améliorations à apporter à la route qui conduit au col du Simplon²⁹. Les groupes de sols ont également été superposés aux cartes d'occupation du sol de la plaine du Rhône en 1850, 1900, 1950 et 2003 réalisées par Elodie Paulmier³⁰ (Fig. 10 et 12). Le plan Napoléon et les cartes d'occupation du sol de la plaine ont été intégrés au projet et modifiés de façon à visualiser spatialement et temporellement les sondages effectués et leur classification en groupes de sols.

Discussion

Groupes de sols

Les groupes de sols (Fig. 3), abstractions statistiques, sont chacun illustrés par un sol réel décrit sur le terrain. Les sols des groupes n° 1 et 2 sont typiques des zones alluviales endiguées. Ils correspondent à une sédimentation régulière dans l'espace et dans le temps car les dépôts sont d'épaisseur semblable et la taille des particules est en général fine. Ils présentent en surface un horizon de labour qui est en principe biomacrostructuré. Cela veut dire qu'ils sont actuellement utilisés à des fins agricoles et qu'ils ont pu évoluer pendant une longue période sans nouveaux apports sédimentaires par le cours d'eau. Deux hypothèses de formation peuvent être proposées: soit ils se situent dans des endroits où le Rhône suivait déjà un chenal unique avant les corrections, soit ils ont pu évoluer suite à la correction du fleuve.

Les sols du groupe n° 3 sont caractérisés par une texture uniforme de sables grossiers et par la présence de matériaux grossiers. Ceci suggère un processus de sédi-

²⁹ Michel LECHEVALIER, «La mission des ingénieurs géographes français en Valais en 1802», dans *Vallesia*, 60 (2005), p. 411-431.

³⁰ PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*.

mentation caractérisé par une vitesse de courant rapide³¹. L'absence de couches de granulométrie plus fine en surface indique que ces sols ont été brusquement coupés de l'influence du fleuve, que ce soit par l'endiguement ou par un changement naturel du cours d'eau. Cependant, la plupart sont pourvus d'un horizon organo-minéral de surface bien développé, ce qui suggère l'absence de sédimentation pendant une longue période, sans doute depuis les corrections du fleuve.

Les sols des groupes n° 4 et 5 présentent une alternance de couches fines et de couches épaisses, dont la granulométrie est très variable, allant des argiles aux sables grossiers. Ce sont des sols typiques de zones alluviales actives, où le cours d'eau est divisé en différents bras qui changent fréquemment de lit³². Les crues ayant déposé le matériel minéral de ces sols ont été d'intensité et de durée variables. Les sols de ces deux groupes se situent donc potentiellement dans des zones où la sédimentation est encore active, le témoin de cette activité étant la présence ou l'absence de structuration des horizons de surface.

De manière générale, la diversité des sols semble donc maintenue à l'échelle de l'ensemble de la plaine, malgré l'endiguement du fleuve. Cependant, cette diversité n'est pas répartie uniformément. En effet, les sols des groupes 4 et 5 se trouvent principalement dans les deux stations où la dynamique alluviale est encore active (station de Finges et de Selkingen), ce qui illustre l'état très endigué du Rhône (90% de son cours).

Dynamique de la mise en place des sols

Wild³³ fut le premier à fournir une description paysagère complète de la plaine long du Rhône. De Brigue à Loèche, la vallée est dépeinte comme une vaste étendue de terres incultes et surtout de marécages, tantôt sous l'influence de sources, tantôt sous celle du Rhône, et fréquemment inondée. La description mentionne quelques prairies et quelques champs, notamment à Rarogne et aux alentours de Tourtemagne. De Loèche à Sierre, le Rhône inonde presque toute la plaine. Entre Sierre et Bramois règnent les pierres, les aulnes (arbre typique des zones alluviales actives) et les marécages. A l'aval de la Borgne, le fleuve semble suivre un schéma différent, possédant plusieurs lits, divaguant à sa guise et occupant la plaine sans l'inonder totalement. A nouveau, depuis Sion, le Rhône transforme la vallée en un grand marécage jusqu'à St-Pierre-de-Clages, à mi-chemin de Martigny. Puis, de là à Martigny, la plaine d'inondation est déjà partiellement aménagée par l'Homme, mais encore marécageuse. Elle se rétrécit, modifiant la morphologie du lit du Rhône.

³¹ John GERRARD, *Alluvial soils*, New York, 1987; John S. BRIDGE, Sharon L. GABEL, «Flow and sediment dynamics in a low sinuosity, braided river-Calamus River, Nebraska Sandhills», dans *Sedimentology*, 39 (1992), p. 125-142 ; Philip N. OWENS, Desmond Eric WALLING, Graham J.L. LEEKS, «Use of floodplain sediment cores to investigate recent historical changes in overbank sedimentation rates and sediment sources in the catchment of the River Ouse, Yorkshire UK», dans *Catena*, 36 (1999), p. 21-47.

³² BULLINGER-WEBER, GOBAT, *Identification of facies models in alluvial soil formation*.

³³ Barthélémy WILD, «Vorschlag zur Eindämmung des Rhodans, und selbst zu dieses Flusses nachmaliger Schiffbachmachung, von seinem Ausfluss in den Lemaner-See bis oberhalb Brieg», dans *Helvetische Monatschrift*, Bd 1, T. 4 (1800), p. 101-125.

Cette description met en évidence les caractéristiques majeures de la plaine entre Brigue et Martigny avant la correction. Les eaux sortaient alors régulièrement du chenal principal du fleuve. Le long de la vallée, la morphologie de la plaine changeait souvent, faisant alterner des zones planes et régulières (plaines d'inondation) et des zones basses (bassins d'inondation ou de décantation), isolées du chenal et touchées lors de fortes crues. La force du courant n'est pas la même dans ces deux types de zones. Dans les plaines d'inondation, les dépôts se produisent lors de la décrue et sont d'épaisseur centimétrique à décimétrique, composés de sables moyens à fins, puis de limons et d'argiles (totalité des matières en suspension). Dans les bassins d'inondation et de décantation, ce sont surtout les limons et les argiles qui sont représentés, les argiles pouvant sédimenter dans ce contexte calme³⁴. Le Rhône vit, encore aujourd'hui, au rythme de l'alternance des hautes et des basses eaux.

Granulométrie

En dehors de la grève, les sols ne présentent pas ou que très peu d'éléments de taille supérieure à deux millimètres. Les dépôts des profils P3 et P4 (limoneux) sont formés surtout de matières transportées en suspension. On peut observer, sur les «PSD plots», des modes sédimentaires qui varient peu dans la partie inférieure des profils, suivis d'une tendance très nette à un changement de mode de sédimentation vers les grandes particules. De plus, les «PSD plots» des deux profils (Fig. 4 et 5) présentent une augmentation de l'épaisseur des dépôts dans leur partie supérieure. Ces observations ne peuvent être expliquées précisément. Des hypothèses peuvent malgré tout être avancées et devront être réexaminées à la lueur des autres résultats. Ces changements pourraient être la conséquence :

- de l'endiguement du fleuve (crues moins fréquentes mais plus importantes, impliquant une énergie plus grande),
- du labour (qui homogénéise les dépôts de surface),
- du vent qui emporte facilement les particules limoneuses en surface, et qui, combiné avec le labour, conduit à l'appauvrissement des sols en fractions fines,
- de changements pluviométriques entraînant une variation de l'intensité de l'érosion des pentes, du temps de transfert des grains jusqu'au fleuve, et donc un changement dans la taille des particules disponibles,
- des variations importantes de la couverture végétale provoquées par l'Homme,
- d'autres facteurs qui n'ont pas encore été mis en évidence.

L'analyse granulométrique des séries sédimentaires a fourni de précieuses informations sur la dynamique de leur mise en place, ainsi que des pistes pour l'interprétation et la reconstitution du milieu. Mais d'autres analyses doivent la compléter afin de pouvoir affiner les hypothèses proposées.

³⁴ Michel CAMPY, Jean-Jacques MACAIRE, *Géologie de la surface. Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux*, Paris, 2003.

Micromorphologie

Les deux lames minces présentées ici (Fig. 6 et 7) indiquent la présence de deux horizons organiques enfouis, donc de deux sols superposés. Il s'agit de sols qui ne sont plus en contact avec la surface et dont les conditions initiales de développement ont disparu.

Sur la première lame mince, la matière organique est présente sous forme d'agrégats séparés du matériel minéral. Ces agrégats sont généralement petits (50 à 200 μm) et contiennent peu de matériel minéral fin mélangé à la matière organique. La faune du sol active dans cet horizon, lorsqu'il se trouvait à la surface, est composée d'après les boulettes fécales observées sur cette lame et conservées jusqu'ici, d'oribates, de collemboles et d'enchytréides³⁵. Les boulettes fécales indiquent une faible activité biologique de la faune du sol, avec pour conséquence une formation déficiente du complexe argilo-humique, qui n'a pas permis la macro-structuration du sol et a conduit à la formation d'un horizon A de juxtaposition³⁶. Mais la faune du sol de cet horizon a tout de même été suffisamment active pour permettre un début d'agrégation avant que celui-ci ne soit enfoui par une nouvelle crue du Rhône. Ce type d'horizon a été retrouvé à la surface actuelle d'un sol dans la station de Sierre. Le type de végétation et sa situation par rapport au fleuve devaient donc y être similaires: végétation de type alluvial avec une dominance d'arbres à bois tendre et proximité du cours d'eau.

La deuxième lame mince présente une grande quantité de macrorestes organiques qui forment la microstructure de l'horizon. Il s'agit principalement de coupes de feuilles (déterminées grâce à la nervure centrale) empilées bien horizontalement les unes sur les autres avec d'autres macrorestes organiques et des grains minéraux entre deux. Il s'agit donc très probablement d'une litière dont les éléments sont déjà en partie fragmentés, appelée horizon OF d'après le Référentiel pédologique français³⁷. Les grains minéraux proviennent vraisemblablement de la crue qui a recouvert cet horizon d'un nouveau dépôt sédimentaire. Cet événement, nécessairement de faible puissance, a sans doute mélangé légèrement la litière avec l'horizon du dessous, car une partie de la lame mince présente des agrégats organo-minéraux entre les grains, donc plutôt la trace d'un horizon organo-minéral A. Ces hypothèses sont confirmées par l'analyse des boulettes fécales qui indiquent la présence, lorsque cet horizon se trouvait à la surface, d'oribates, de diptères et de vers épigés³⁸; cette faune est spécifique à la fragmentation de la litière. Enfin, des coupes de racelles permettent la reconstitution partielle de la végétation contemporaine à la formation de cet horizon. D'après Küpfer (comm. pers.), il s'agit de coupes de racines d'aulne, un arbre habituel des forêts alluviales régulièrement et/ou ponctuellement inondées par les crues³⁹.

³⁵ Urs BABEL, «Micromorphology of soil organic matter», dans J.E. GIESKING, *Soil components: organic components*, New York, 1975, p. 369-475 ; RUSEK, *Soil microstructures*.

³⁶ AFES, *Référentiel pédologique*.

³⁷ AFES, *Référentiel pédologique*.

³⁸ BABEL, «Micromorphology of soil organic matter».

³⁹ Raymond DELARZE, Yves GONSETH, Pierre GALAND, *Guide des milieux naturels de Suisse*, Lausanne-Paris, 1998.

La station de Martigny a donc connu au moins deux périodes de relative stabilité, avec une végétation de type alluvial et de nombreux événements de sédimentation. Cette station était vraisemblablement une zone alluviale active aux abords du Rhône, alors qu'elle est actuellement constituée de vergers.

Matière organique

Dans la plupart des échantillons, la fraction de 5-50 μm contient la majeure partie du C_{org} . Selon les travaux de Fierz⁴⁰ dans les zones alluviales de la Sarine et de la Maggia, le C_{org} se concentre dans les fractions fines (<100 μm) lorsqu'un sol alluvial évolue sans nouvelle sédimentation. Cette concentration se formerait en moins d'un siècle d'évolution. La différence de fragmentation de la matière organique observée entre les différents sols de la plaine du Rhône souligne la présence majoritaire de sols évolués. Seuls trois échantillons sont les témoins de zones alluviales actives ou de sols encore jeunes. En effet, l'horizon de surface de la station de Sierre, l'horizon organique enfoui à 175 cm de la station de Martigny et l'horizon de la station de Selkingen présentent leur concentration maximale de C_{org} dans les fractions grossières (>100 μm). L'activité de fragmentation de la faune du sol dans ces horizons est donc plutôt faible ou n'a eu que trop peu de temps pour déployer ses effets. La différence de fragmentation est très frappante entre l'horizon de surface et l'horizon enfoui à 175 cm de la station de Martigny; elle souligne le changement complet de dynamique alluviale entre ces deux sols superposés. L'horizon de surface présente les caractéristiques d'un sol ayant évolué sans alluvionnement pendant au moins un siècle, tandis que l'horizon de profondeur témoigne d'une dynamique alluviale active, et ceci au même endroit. Ces résultats confirment ceux obtenus par l'analyse des lames minces (micromorphologie).

Ils soulignent également la différence entre les zones agricoles et les zones situées actuellement ou par le passé sous forêt. La mise en culture des sols provoque une baisse de la matière organique en raison de la minéralisation plus élevée du C_{org} ⁴¹. Selon ces auteurs, toutes les fractions sont affectées par la baisse de C_{org} , mais principalement la fraction grossière. Ce faible taux de C_{org} , ainsi que sa concentration dans les fractions les plus fines, caractérisent les sols actuellement en zone agricole, c'est-à-dire les sols des stations de Saillon, Rarogne, Tourtemagne, et Martigny (pour les horizons de surface).

Cartographie

Il convient de rester prudent quant aux résultats énoncés dans ce paragraphe, car les cartes du XIX^e et du début du XX^e siècle ne peuvent rivaliser de précision avec les cartes actuelles. Des variations de l'ordre de dizaines de mètres, voire de plus de cent mètres parfois, sont constatées entre les cartes de 1850 et celles de 2003⁴². La

⁴⁰ FIERZ, GOBAT, GUENAT, «Quantification et caractérisation de la matière organique».

⁴¹ BALESDENT *et al.*, «The dynamics of carbon».

⁴² PAULMIER, *Evolution de la qualité écologique des paysages*; ZANINI *et al.*, «Analyse de la dynamique du paysage de la plaine du Rhône».

superposition de la limite de la plaine du Rhône avec le plan Napoléon confirme l'erreur importante présente sur ces anciens relevés à certains endroits de la plaine (Finges par exemple). On peut donc proposer des conclusions uniquement à l'échelle des stations. Ici également, seules les stations de Tourtemagne et Rarogne sont présentées (Fig. 9-12).

Station 6. Tourtemagne

Tourtemagne est une région très agricole. L'utilisation des sols n'a pratiquement pas varié dans la zone étudiée depuis 1900, et sur le plan Napoléon, on observe déjà la présence de champs. On y trouve des sols profonds (3 sondages n'ont pas atteint la grève alluviale), avec une sédimentation régulière dans l'espace et le temps (groupe n° 1). Visiblement, cette portion de la plaine n'a jamais été une zone alluviale très active. En effet, sur le Plan Napoléon, le Rhône suit déjà un chenal unique. Le fleuve y débordait⁴³ sur toute la largeur de la plaine en période de hautes eaux, mais sans causer de dégâts. Ceci est confirmé par nos sondages qui ont mis en évidence des textures fines dans des lits sédimentaires plutôt épais. L'homme a très certainement joué un rôle important dans la formation des sols et le comblement des irrégularités du relief de la plaine. Des meunières sont utilisées, encore de nos jours, pour forcer la sédimentation par la technique du colmatage mise en évidence dans plusieurs plaines alluviales de l'arc alpin⁴⁴. Aux alentours du profil P4, le seul groupe de sols présent est le n° 1. Ce groupe est typique des zones alluviales endiguées et le profil P4 illustre parfaitement les sols de la zone, profonds et composés de dépôts sédimentaires de granulométrie fine.

Station 7. Rarogne

Comme dans la station 1 à Martigny, cette partie de la plaine est surtout constituée de sols des groupes n° 1 (sédimentation régulière dans l'espace et dans le temps) et n° 2 (anthropisés), mais tous les groupes de sols y sont représentés. Ils attestent d'une ancienne zone alluviale active, du type de celle de Saillon (station 2), largement mise en culture avant le début du XX^e siècle déjà. D'ailleurs, le Plan Napoléon atteste la présence de nombreux lits du Rhône à cet endroit, ainsi que de nombreuses barres de galets et de forêts bordant le fleuve. Tout près du profil P3 se trouvent le sondage T87, qui appartient au groupe n° 2, et le sondage T86, du groupe n° 5, typiques d'une zone alluviale active. Malgré la diversité des sols représentés dans la station, entre 1900 et 2003, le profil P3 a toujours été situé en zone agricole et l'est encore aujourd'hui.

⁴³ WILD, «Vorschlag zur Eindämmung des Rhodans».

⁴⁴ Jacky GIREL, «Old distribution procedure of both water and matter fluxes in floodplains of Western Europe: impact on present végétation», dans *Environmental Management*, 2 (1994), p. 203-221.
Julien SÉRANDOUR *et al.*, «How human practices have affected vector-borne diseases in the past: a study of malaria transmission in Alpine valleys», dans *Malaria Journal*, 6 (2007), article disponible sur Internet à l'adresse <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2042507/> (consulté le 03.11.2009).

Conclusion

Nos études mettent en évidence une grande différence typologique et historique entre les sols des zones où le fleuve est endigué et ceux des zones alluviales actives, qu'elles soient actuelles ou passées. Elles permettent de reconstituer l'environnement dans lequel les sols se sont développés et ont évolué. Elles mettent également en évidence une sédimentation forcée effectuée par l'homme lors de l'irrigation de la plaine. Par ailleurs, de nombreux sols de la station de Selkingen, de Finges et de Martigny présentent des couches de matière organique enfouies qui témoignent de périodes de stabilité durant lesquelles les sols ont évolué sous une végétation alluviale typique (aulnaie), avant d'être recouverts par de nouveaux sédiments lors de crues. D'autres sols, en particulier près de Martigny, Tourtemagne et Rarogne, présentent un horizon de surface très structuré qui démontre leur évolution pendant une longue période (cent à deux cents ans) sans nouvelle sédimentation.

Finalement, l'analyse cartographique couplée aux résultats des groupes de sols permet de proposer pour chaque station une hypothèse sur leur mise en place, ainsi que de vérifier sa pertinence. Les zones où le Rhône est actuellement endigué et où, conjointement, on ne trouve que des sols profonds, étaient caractérisées par un fleuve à chenal unique déjà avant les corrections. En revanche, les zones où le fleuve est endigué, mais dans lesquelles on observe une grande diversité de sols, s'avèrent être d'anciennes zones alluviales très actives.

Il ressort de ce travail que les sols actuels de la plaine du Rhône en amont du Léman sont marqués par les effets de l'endiguement du fleuve et par l'activité agricole prépondérante de nos jours. Néanmoins, malgré les nombreux remaniements et leur utilisation souvent agricole, les sols de la plaine gardent, pour la plupart, la trace évidente de la dynamique alluviale antérieure aux corrections du fleuve. Sur la base d'une approche combinant des sondages de terrain, des études granulométriques et micromorphologiques, ainsi qu'une représentation cartographique, cette étude montre que la plaine du Rhône a conservé, bien plus que l'observation du paysage actuel ne le laisse supposer, des caractères pédologiques alluviaux encore bien exprimés en de nombreux endroits.

Remerciements

Nous remercions chaleureusement Claire Arnold et Géraldine Bullinger-Weber pour leurs conseils et leur disponibilité. C'est avec grand intérêt que nous avons travaillé en collaboration avec le groupe en charge de la Troisième correction du Rhône; nous remercions Alexandre Vogel et Nicolas Luisier de nous avoir donné cette opportunité et de nous avoir proposé l'encadrement nécessaire. Nous remercions les responsables de l'administration cantonale valaisanne et les agriculteurs qui nous ont autorisés à creuser les fosses pédologiques et à effectuer les sondages à la tarière.