

CHAPITRE IX

MICROMORPHOLOGIE: ÉTUDE DES SOLS ENFOUIS

9.1 INTRODUCTION

9.1.1 CADRE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'intégration de la géoarchéologie à la recherche sur les sites archéologiques de Gamsen fut envisagée dès la conception du projet. L'analyse micromorphologique (voir encadré ci-après) devait porter sur l'interprétation de certains vestiges archéologiques complexes, en amenant à une meilleure compréhension des processus de formation des couches anthropiques²⁷⁰. Les résultats de ces analyses sont présentés ailleurs²⁷¹.

Comme c'est l'usage dans cette démarche, nous avons inclus les sédiments naturels sous-jacents aux structures archéologiques lors des prélèvements d'échantillons systématiques ou plus ciblés²⁷². Étant donné qu'une étude géologique approfondie a été menée en parallèle par Bernard Moulin, nos investigations ont concerné plus particulièrement l'aspect pédosédimentaire et sont ainsi venues compléter les observations sédimentologiques (voir chapitre I, pp. 22 sqq.). Autrement dit, la micromorphologie est intervenue dans les problématiques pour lesquelles les méthodes plus classiques avaient atteint leurs limites, notamment lors de l'interaction des processus pédogénétiques.

Concrètement, il s'agissait dans un premier temps de préciser la nature et l'origine des sédiments rougeâtres qui, sur le terrain, apparaissaient à plusieurs endroits dans les coupes stratigraphiques, au sein de la séquence « médiane ». Rappelons que cette dernière comprend les successions de couches postérieures aux dépôts glacio-lacustres, mais antérieures aux occupations protohistoriques (voir chapitre III).

En premier lieu, il s'agissait de déterminer la cause de cette rubéfaction: est-elle l'effet d'un passage du feu, suite à un incendie? Ou d'une oxydation naturelle, pédologique, voire d'une combinaison des deux phénomènes?

Il fallait en outre définir si ces horizons étaient en place ou s'ils avaient subi des remaniements semblables à ceux des formations colluviales, sur le versant. L'interprétation de ces sédiments particuliers débouchait donc sur des questions d'ordre paléo-environnemental: si une partie de ces horizons rubéfiés témoignait bien de pédogénèses anciennes, quelle était leur signification dans le cadre de l'évolution du coteau de Gamsen, à l'Holocène?

²⁷⁰ Voir aussi BUTZER 1982 ou COURTY *et al.* 1994.

²⁷¹ BENKERT et EPINEY-NICOUD 2005, pp. 51 sqq.

²⁷² Voir aussi à ce sujet COURTY *et al.* 1989.

Pour répondre à ces questions, nous avons prélevé des échantillons dans les profils où la séquence médiane était relativement bien développée, dans trois zones distinctes, à savoir Waldmatte-ouest (ou BW-ouest), Waldmatte-est (ou BW-est) et Bildacker (BB) (fig. 126). Nous présentons ci-dessous les observations de terrain et les résultats des analyses de laboratoire réalisées sur ces trois secteurs, en accordant une importance particulière à la description microscopique et à l'interprétation des dépôts qui en découle.

Qu'est-ce que la micromorphologie ?

- *La micromorphologie est une technique issue de la pédologie pour étudier la genèse et le fonctionnement des sols grâce à un examen microscopique. Par opposition aux méthodes classiquement utilisées en sédimentologie, son point fort réside dans la conservation de l'organisation spatiale du sédiment, ce qui permet une hiérarchisation dans le temps des processus génétiques.*
- *Pratiquement, sur le terrain, des blocs orientés sont prélevés dans les couches à analyser, ceci à partir de coupes stratigraphiques. Puis ces échantillons non perturbés sont positionnés sur un relevé de profil accompagné d'un descriptif.*
- *Au laboratoire, les blocs de sédiment sont tout d'abord séchés, puis indurés sous vide par de la résine synthétique liquide. Après polymérisation complète de cette dernière, le bloc induré est débité à l'aide d'une scie diamantée dans le but d'obtenir des tranches de la couche à analyser. Celles-ci sont ensuite amincies jusqu'à 30 microns à l'aide d'une rectifieuse. Une fois montées et recouvertes, ces lames minces sont prêtes pour la microscopie.*

9.1.2 CHRONIQUE DES TRAVAUX

Toute étude micromorphologique débute nécessairement par des travaux sur le terrain. Concernant la problématique paléopédologique de Gamsen, ces derniers se sont déroulés en trois étapes. La première eut lieu en novembre 1991, à Waldmatte-ouest, dans deux tranchées ouvertes à la pelle mécanique où plusieurs échantillons furent prélevés dans des niveaux interprétés comme des sols enfouis. En avril de l'année suivante, des relevés accompagnés de prélèvements micromorphologiques furent effectués sur le site de Bildacker, dans des sondages de prospection archéologique et pour des motifs identiques. Notre dernière intervention, en juillet 1993, se déroula dans une tranchée localisée à Waldmatte-est, dans laquelle sont également apparus plusieurs sols fossiles.

Simultanément à ces travaux, la fabrication des lames minces²⁷³ fut mise en route selon le mode opératoire défini dans l'encadré ci-dessus. Un corpus d'une quarantaine de lames au total, comprenant également des échantillons comparatifs de sols actuels, fut ainsi créé pour cette problématique. Toutes ces lames ont été analysées selon les techniques de microscopie optique mises aimablement à notre disposition par le Laboratoire de Géoarchéologie du Séminaire de Préhistoire de l'Université de Bâle.

Suite à une analyse microscopique préliminaire, en 1993, un rapport présentant les premiers résultats de cette recherche fut rédigé²⁷⁴. En septembre 1997, de nouvelles données sur le thème des sols enfouis de Gamsen, comparées avec celles du site de Sierre-Creux de Chippis, firent l'objet d'une publication²⁷⁵. Depuis la parution de cet article, nous avons repris l'intégralité du problème en consultant en parallèle la littérature spécialisée.

²⁷³ Nous remercions C. Blanchet, du Centre de Géomorphologie de Caen, et Th. Beckmann, de Braunschweig, qui se sont chargés de cette opération.

²⁷⁴ GUÉLAT *et al.* 1993, pp. 25-47.

²⁷⁵ GUÉLAT *et al.* 1998.

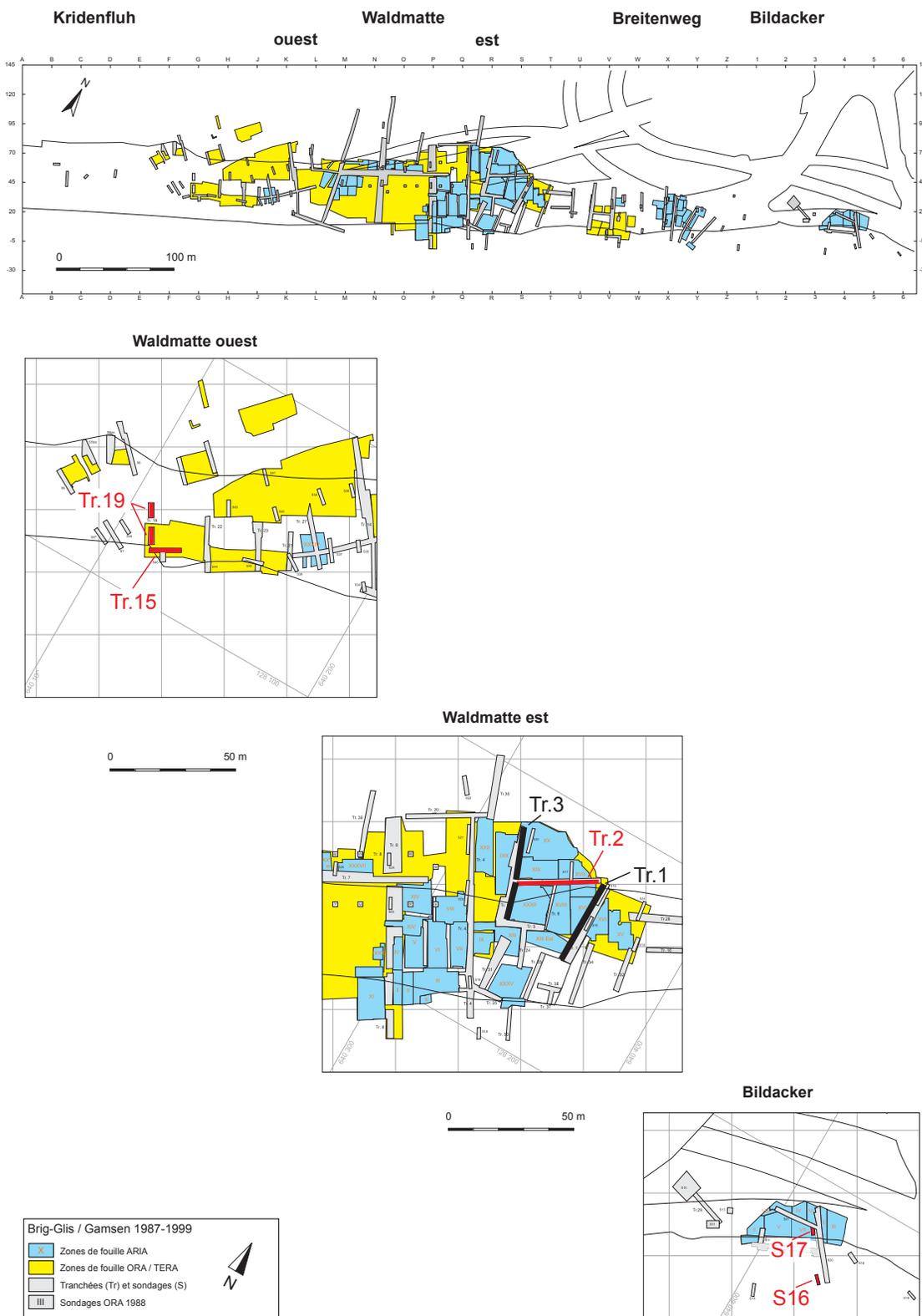


Fig. 126 — Plan général des sites de Brig-Glis / Gamsen (en haut) et plans de situation des profils analysés (sites de Bildacker, Waldmatte-est et Waldmatte-ouest).

9.2 LES SOLS FOSSILES DE GAMSEN

Quelques points communs à tous les sols fossiles rencontrés sur les sites de Gamsen sont tout d'abord discutés avant de passer à leur analyse proprement dite.

9.2.1 ÉTAT DE LA QUESTION

L'appellation de sols fossiles est habituellement utilisée pour définir des sols enfouis dont l'évolution a été stoppée par leur recouvrement et dont les traits ont ainsi été conservés²⁷⁶. Nous appliquerons ce terme aux sols rencontrés dans la séquence médiane de Gamsen, en considérant cette désignation comme synonyme de sols enfouis, recouverts. Nous renonçons aux termes de paléosol et de sol reliquaire, ces expressions étant souvent utilisées de manière abusive dans la littérature spécialisée²⁷⁷.

Un sol fossile en place (ou *in situ*) est considéré comme le résultat d'une phase de pédogenèse sous des conditions morphodynamiques stables, situation rejoignant le concept de biostasie selon Erhart²⁷⁸. Lors d'une telle phase de stabilité, les processus d'altération l'emportent sur les phénomènes de sédimentation, tels que l'accumulation et l'érosion, et conduisent à la formation d'un sol caractéristique. Un épisode de pédogenèse correspond donc, du point de vue stratigraphique, à une absence de sédimentation ou, autrement dit, à un hiatus.

L'éventail des conditions et des événements permettant la conservation de sols fossiles est très large. Certains sont préservés sous des sédiments morainiques ou fluviaux, d'autres sous une couverture de dépôts loessiques²⁷⁹. Dans le cas du site de Gamsen, les conditions géomorphologiques locales ont contribué de manière déterminante à la préservation de sols anciens: la situation du gisement au pied du versant du Glishorn explique que de tels sols aient été enfouis sous des colluvions de pente ou des dépôts de ruissellement. La majeure partie du coteau ne présente aucun sol fossile, car les processus d'érosion et d'accumulation ont globalement dominé dans ces zones. On ne les rencontre que dans les secteurs caractérisés par des replats plus ou moins bien marqués, à Waldmatte-ouest et -est et à Bildacker (voir chapitre IV). Il s'agit presque exclusivement de sols bruns²⁸⁰: ce type de sol se développe à partir d'un substrat graveleux carbonaté bien drainé à matrice silteuse (fig. 127). Dans la majorité des cas, le substrat de départ correspond à des colluvions plus ou moins altérées; il est plus rarement constitué de sédiments lacustres ou de fins dépôts de ruissellement. Les sols bruns actuels (encadré page suivante) se composent d'un horizon humifère et d'un horizon d'altération sur un substrat non altéré, siège de précipitations de carbonates secondaires. Les profils des sols fossiles de Gamsen sont toujours partiels: l'horizon humifère fait en général défaut et il en va de même parfois pour la partie supérieure de l'horizon d'altération.

Plusieurs publications ont abordé la question des sols fossiles en Valais. Jayet et Sauter, notamment, mentionnent sur différents sites archéologiques du Valais Central et du Bas-Valais des «terres rouges» qu'ils ont interprétées comme des horizons d'altération²⁸¹. Nos propres investigations ont toutefois montré qu'il fallait procéder avec discernement lors de l'interprétation génétique et chronologique de ces niveaux rubéfiés. Les analyses réalisées à Sion-Tourbillon ont par exemple attesté la présence d'un sol brun préneolithique sur du loess²⁸². Ces quelques cas bien documentés sont plutôt rares, car la plupart des sols décrits en Valais se résument à des sols peu épais²⁸³ développés sur des dépôts de pente ou des sédiments morainiques. Ainsi, sur le cône de déjection de Sierre-Creux de Chippis, les horizons humifères

276 LESER *et al.* 1985; SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL 1970.

277 Le terme de paléosol désigne souvent un sol fossile généré au cours de périodes relativement anciennes (p. ex. le Tertiaire) ou durant un interglaciaire (LESER *et al.* 1985; LOZET et MATHIEU 1997); dans d'autres cas, cette expression est utilisée dans le sens général pour toute pédogenèse antérieure à l'actuelle (HINTERMAIER-ERHARD et ZECH 1997; SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL 1970; SSSA 1996). Le terme de sol reliquaire, employé surtout dans la littérature germanique, se distinguerait par le fait qu'il désigne un paléosol qui n'a pas été enfoui et qui de ce fait présente déjà, de manière dominante, des traits acquis au cours de la pédogenèse récente (HINTERMAIER-ERHARD et ZECH 1997; AG BODENKUNDE 1982; LESER *et al.* 1985; SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL 1970).

278 ERHART 1967.

279 Accumulations de poussières transportées par les vents, caractéristiques des climats froids.

280 Dans cette étude, nous utilisons l'ancien système de classification des sols (CPCS 1967), y compris pour la définition des horizons pédologiques.

281 JAYET et SAUTER 1953; SAUTER *et al.* 1971.

282 *Sion-Tourbillon et Savièse-Château de la Soie (VS). Etude micromorphologique et minéralogique.* (Michel Guélat, rapport non publié, 9 p., 1995). Pour la description des trouvailles archéologiques, voir MÜLLER 1995.

283 Soit à des profils de type A-C.

de cinq sols de type rendzine à gypse ont été conservés²⁸⁴. Dans la région du col du Simplon, Müller décrit une alternance d'horizons humifères et de dépôts cryoclastiques²⁸⁵. De nombreux travaux portent également sur l'interprétation paléoclimatique et la datation de sols enfouis sous des moraines de l'étage alpin²⁸⁶. Pour le Valais central et méridional, plus de cinquante analyses ont été menées sur des horizons humifères localisés dans d'anciens domaines proglaciaires ou sur des moraines²⁸⁷. Malgré leur âge estimé parfois à plusieurs siècles, ces sols typiquement alpins ne sont pas comparables aux sols fossiles de Gamsen, étant donné les conditions de station en général très différentes²⁸⁸. L'originalité des horizons rubéfiés de Gamsen ne s'en trouve ainsi que renforcée.

9.2.2 POURQUOI DES SOLS DE COULEUR ROUGE?

Les sols enfouis de Gamsen montrent une coloration singulière qui a attiré l'attention des archéologues. De tels niveaux rougeâtres sont d'ailleurs apparus fréquemment dans les séquences holocènes mises au jour sur d'autres sites archéologiques valaisans, comme nous venons de le voir sous le point précédent.

Quelques définitions

- **Horizon humifère (ou horizon A)**

Horizon organo-minéral qui se situe dans la partie sommitale d'un profil de sol. Il se caractérise par son degré de bioturbation élevé et par des composants particuliers tels que coquilles de gastéropodes et autres concrétions biogéniques.

- **Horizon d'altération (ou horizon B)**

Horizon minéral, qui est le siège de processus tels que l'altération de minéraux, la libération d'oxy-hydroxydes de fer et la décarbonatation. Ces phénomènes se traduisent par une structuration pédologique, une coloration différente du substrat ainsi qu'une néoformation de minéraux argileux. À Gamsen, les horizons d'altération des sols bruns se caractérisent spécialement par un enrichissement en oxydes de fer. Ces derniers sont à l'origine d'une coloration brun-rouge, d'où la dénomination de sol brun rubéfié.

- **Horizon minéral peu ou pas atteint par l'altération (ou horizon C)**

Il s'agit en général du substrat sédimentaire (p. ex. dépôts torrentiels ou colluvions) sur lequel le sol s'est développé. Lorsqu'il est enrichi secondairement en carbonates, on parle d'horizon Cca. Ces carbonates peuvent précipiter dans la matrice, autour d'anciennes racines ou sur la face inférieure de grains minéraux, sous forme de revêtements finement lités appelés pendeloques.

- **Sol brun (ou cambisol, selon WRB 2007)²⁸⁹**

Le profil type d'un sol brun montre, de haut en bas, la succession des horizons pédologiques suivante: A – B – (Cca) – C.

- **Colluvions**

Formations superficielles de versant, résultant de l'accumulation progressive de sédiments altérés ou de roches meubles. Sur les sites de Gamsen, les colluvions se présentent sous la forme d'un dépôt hétérométrique, sablo-silteux à gravillons, avec parfois une tendance au litage des éléments grossiers, ces derniers se trouvant à des degrés d'altération et d'éroussés divers. Ils contiennent en outre des pendeloques calcaires remaniées ainsi que des charbons de bois. Deux types ont été distingués: d'une part, les colluvions grises à composants carbonatés peu altérés et d'autre part des colluvions de couleur brun-rougeâtre, pauvre en carbonates. Ce second type est issu principalement de l'érosion des sols dans le versant, c'est pourquoi on parle de pédosédiments.



Fig. 127 — Un sol brun rubéfié: vue d'une section polie du sol 2 de BW-ouest (échantillon GM38). H. 14 cm.

²⁸⁴ GUÉLAT *et al.* 1998.

²⁸⁵ MÜLLER 1977.

²⁸⁶ FURRER *et al.* 1987.

²⁸⁷ BIRCHER 1982; HOLZHAUSER 1985 et 1995; GAMPER 1985.

²⁸⁸ Différences d'altitude, de substrat, d'exposition et de végétation.

²⁸⁹ IUSS Working Group WRB 2007. Word Reference Base for Soil Resources 2006, first update 2007. World Soil resources Reports N°103 FAO, Rome.

Pour aborder le thème de la couleur des sols, il est nécessaire de définir au préalable le terme de rubéfaction qui recouvre différents concepts dans la littérature spécialisée. Nous l'utilisons pour notre part sous son acception courante en archéologie, à savoir l'apparition de la couleur rouge, c'est-à-dire d'une teinte des sédiments qui, dans la charte Munsell, se situe dans les gammes 7,5YR à 5YR (et plus rouge)²⁹⁰. Cette définition n'implique aucun processus génétique car la rubéfaction peut avoir des origines diverses. Dans les secteurs de Waldmatte-ouest et de Bildacker, les séquences de versant ont révélé des horizons B enterrés de teinte rouge la plus prononcée, soit 5YR, tandis qu'à Waldmatte-est, dans la succession stratigraphique la plus complète, ceux-ci ne dépassent pas la gamme 7,5YR.

Sous climat tempéré, la rubéfaction dans les sols est un processus complexe dû à la transformation des oxydes de fer, ceux-ci existant sous plusieurs types minéraux. Dans un article synthétique, Schwertmann définit les relations qui existent entre oxydes de fer, couleur des sols et pédoenvironnement²⁹¹. Selon cet auteur, des colorations atteignant les gammes de couleur de 7,5-5YR et plus rouge indiquent la présence d'hématite (Fe_2O_3), un minéral qui se caractérise par une trace rouge²⁹². Guenat a analysé les horizons rubéfiés, de couleur 5YR, apparaissant localement dans les sols sur moraine du Jura vaudois: ceux-ci contiennent effectivement de l'hématite sous une forme cristallisée, alors que les autres horizons, ainsi que la moraine, en sont dépourvus²⁹³. Selon ces mêmes auteurs, plusieurs facteurs favorisent l'apparition de la rubéfaction dans les sols:

- un matériau parental à forte teneur en fer et possédant une perméabilité élevée; ce substrat doit en outre contenir suffisamment de carbonates pour maintenir le pH proche de la neutralité;
- un climat de type plutôt contrasté, avec des phases de dessiccation totale en période estivale;
- une position topographique assurant un bon drainage des profils.

Géographiquement, ces conditions sont généralement rattachées au pourtour méditerranéen et aux environnements tropicaux, mais avec des données stationnelles particulières, elles peuvent également survenir dans les régions tempérées²⁹⁴.

Le site de Gamsen-Waldmatte entre précisément dans cette dernière catégorie (voir chapitre 1, pp. 13 sqq.). Les différents fragments de roches qu'on y rencontre, tels que micaschistes, calcschistes et schistes gris ont un spectre minéralogique engendrant une abondance du fer²⁹⁵. Dans ces matériaux sablo-graveleux, très filtrants, le pH oscille aux environs de 7,5. Le climat local de type continental, avec des pluies annuelles modestes²⁹⁶, se caractérise par des saisons contrastées, favorisant l'humectation-déshydratation des profils. Enfin, la position topographique du gisement, dominant la plaine alluviale du Rhône, assure un parfait drainage. Bien qu'aucune analyse des formes du fer n'ait été réalisée sur les sols enfouis de Waldmatte, nous supposons que ces derniers renferment de l'hématite, tout particulièrement les sols de la gamme 5YR dans les profils de Waldmatte-ouest et de Bildacker.

Dans les horizons rubéfiés, l'hématite coexiste avec la goethite (FeOOH), oxyde de fer beaucoup plus courant dans les climats tempérés, donnant à la plupart des sols de ces régions une teinte brun-jaune (de 2,5Y à 7,5YR). À ce propos, les sols actuels de Gamsen ont précisément une couleur qui s'insère dans la gamme 10YR, soit brun-jaune à brun foncé.

290 MUNSELL COLOR Co. 1992.

291 SCHWERTMANN 1993.

292 Couleur du minéral réduit en poudre. Le moyen le plus courant de déterminer cette trace consiste à faire un trait avec le minéral sur une plaque de porcelaine blanche.

293 GUENAT 1987.

294 BRESSON 1976; SCHWERTMANN *et al.* 1982.

295 Mentionnons à titre d'exemple l'apparition du stilpnomélan qui est un phyllosilicate typique des sédiments riches en fer et manganèse, de métamorphisme faible (DEER *et al.* 1992).

296 730mm selon GUTERSOHN 1961.

Comment dès lors expliquer que les sols enfouis, sur ce même site, montrent une rubéfaction? On peut admettre que les composés organiques masquent en partie les oxydes de fer contenus dans les sols actuels, mais un autre paramètre important entre ici en ligne de compte: c'est le facteur temps. Schwertmann²⁹⁷ explique la transformation des sols jaunes en sols rouges par un taux de libération du fer plus grand à un stade avancé du développement du sol, ce qui conduit à la formation d'hématite²⁹⁸. Des sols rouges, ayant évolué sur de longues périodes, peuvent ainsi apparaître dans des régions où seuls des sols brun-jaune se développent actuellement. Dans le cas de Waldmatte, les séquences pédosédimentaires montrent que dès l'âge du Fer, vers 600 av. J.-C., les profils ont été constamment rechargés en carbonates (par exemple par des alluvions torrentielles), processus qui inhibe l'évolution de la rubéfaction.

Pour clore cette discussion, précisons encore que la rubéfaction apparaissant dans certaines couches n'est pas toujours due à un processus d'évolution sur place des sédiments. Comme nous le verrons dans le chapitre suivant, cette coloration peut être héritée à partir de sols fossiles érodés dans le versant et accumulés en bas de pente sous forme de colluvions: il s'agit dans ce cas précis de pédosédiments et non de sols développés *in situ*. La rubéfaction peut aussi résulter d'un passage du feu à la surface du sol au cours d'un épisode d'incendie. Cet événement se détecte aisément sous lame mince par l'apparition conjuguée de différents indices: grains minéraux rubéfiés²⁹⁹ à partir de leur pourtour avec, dans le cas des calcschistes, de la calcite transformée en chaux; charbons de bois abondants, racines carbonisées.

Soulignons enfin qu'à Brig, par opposition à d'autres sites archéologiques valaisans³⁰⁰, on n'assiste à aucun héritage direct à partir d'une formation géologique ou roche-mère qui recèlerait à l'origine la pigmentation rougeâtre.

9.3 ANALYSE MICROMORPHOLOGIQUE

Rappelons que des sols enfouis sont apparus à trois endroits différents sur le gisement de Gamsen:

- à Waldmatte-ouest, dans des dépôts coiffant les témoins tardiglaciaires;
- à Waldmatte-est, sous un cône torrentiel édifié durant les périodes protohistorique et historique;
- à Bildacker, au-dessus de diverses formations du Tardiglaciaire et de l'Holocène ancien.

La séquence de Waldmatte-est, qui est la plus complète, constitue par conséquent le profil de référence pour notre étude. Les séquences de Waldmatte-ouest et de Bildacker, moins développées, permettent d'établir d'intéressantes comparaisons.

9.3.1 WALDMATTE-EST

9.3.1.1 Présentation³⁰¹

Dans la partie distale du cône torrentiel est (domaine morphosédimentaire C, voir p. 23), plusieurs tranchées ouvertes à la pelle mécanique ont révélé l'existence de sols fossiles intercalés dans la séquence médiane, en dessous des couches protohistoriques (voir chapitre III). Il s'agit des tranchées Tr.1, Tr.2 et Tr.3, mais il faut souligner que seule Tr.2, comprenant plus précisément les coupes t2a et t2b³⁰², a fait l'objet de prélèvements pour la micromorphologie (fig. 128). La tranchée Tr.3, directement adjacente à Tr.2, a permis de compléter la succession stratigraphique qui sert de support général à notre approche. La tranchée Tr.1³⁰³ intervient quant à elle au niveau des éléments de datation (fig. 129).

²⁹⁷ SCHWERTMANN 1993.

²⁹⁸ Par déshydratation de ferrihydrite ($\text{Fe}_5\text{HO}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), un autre type d'oxyde de fer.

²⁹⁹ D'après SCHWERTMANN 1993, ceci résulte d'une transformation par le feu de la goëthite, en présence de matière organique et avec un apport limité en oxygène, qui génère ainsi de la maghémite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$), un oxyde de fer de couleur 2.5YR-5YR.

³⁰⁰ Par exemple Collombey-Barmaz (GUÉLAT *et al.* 1995).

³⁰¹ Pour mémoire, les éléments distingués sont les suivants: d'une part, les phases de pédogenèse (PED) correspondant à des arrêts de sédimentation; d'autre part, les phases de mise en place de sédiments qui sont de différents types: coulée boueuse (CB), colluvionnement (COL), écroulement (EB), ruissellement (RUS) et alluvionnement torrentiel (TOR).

³⁰² t2b correspond à une nouvelle vision de la stratigraphie obtenue après recul de la coupe t2a.

³⁰³ Située à une trentaine de mètres à l'est, cette tranchée livre une séquence holocène corrélable à celle des tranchées Tr.2 et Tr.3, ainsi que des informations pour la chronologie absolue (voir chapitre III).

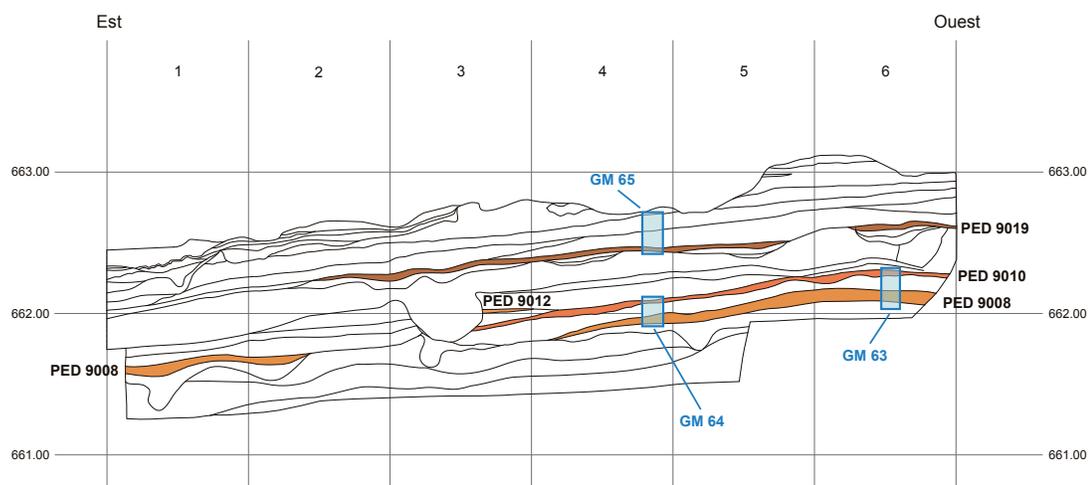


Fig. 128 — Waldmatte-est, coupe stratigraphique t2b (Tr.2), avec les quatre sols enfouis et l'emplacement des échantillons micromorphologiques. Pour la localisation de la coupe, voir Fig. 1.

Chronologie	Événements	Tr.1 / Tr. 2 / Tr. 3 - Unités de terrain (UT)				
		t1w	t2a	t2b	t3a	t3b
1 ^{er} âge du Fer	HABITAT					
	COL9022	40, 96, 120, 121, 122	III, IIIb, IIIj, 136	15, 16, 17c	32b, 56b, 64, 75b	5, 5A, 5B
	TOR9021	123	137, 137b	14	33, 67a, 67b, 68	49
	COL9020	124	IIIc	13	34, 65	6, 15
	TOR9025	125				
	PED9019	126	138, 141, 149	12	39	7
2456-2050 BC	t1w/126a COL9018		144		40	7A, 7C
2872-2488 BC	t1w/127 RUS9017		139, 140, 142, 145	10, 11	37	7B
	t1w/128 INC9016		148	9c		
	CB9015		143, 143b, 147	9a, 9b	38, 41, 42, 66, 70	8, 8A
	TOR9013		150	7, 8	69, 71	22, 23, 24
	INC9014				48, 49	18
	PED9012			6c	46, 72a	16, 16A
	CDG9011				47	17, 19, 20
	TOR9024			6b	73	21
	PED9010			6a	43, 44, 50, 72b, 72ab	9, 9A
	COL9023			5		
	TOR9009				74	26, 26B
6072-5759 BC	PED9008	130a, 130b		4b	72, 72c	
6416-6063 BC	t3a/76 RUS9007	131	152	4a		25
	TOR9006 TOR9003	132, 133, 134			45, 452, 3b	10, 10A
	PED9005					
	TOR9004					
	CDG2002	135	153	1		14, 14A
Tardiglaciaire	EB9001	34, 100				

Fig. 129 — Waldmatte-est, tableau de synthèse de la séquence antérieure aux habitats: coupes t1w (Tr.1), t2a-t2b (Tr.2) et t3a-t3b (Tr.3), d'après la fig. 58, pp.98-99.

Événement	Micromorphologie	Interprétation
HABITAT	Événement absent dans les échantillons.	Niveau d'occupation du 1 ^{er} âge du Fer.
COL9022	Sables silteux à gravillons, brun foncé, assez poreux (20%). Nombreux éléments brûlés, avec une tendance au litage. Charbons de bois abondants.	Colluvions de sols reprenant entre autres des dépôts post-incendie. Pédosédiments.
TOR9021	Événement absent dans les échantillons.	–
COL9020	Sables silteux riches en gravillons, brunâtres, à forte porosité (25%). Grains minéraux peu altérés, rarement brûlés. Matrice carbonatée, avec des enrobements de grains colloïdaux. Rares charbons de bois. Contact supérieur érosif.	Colluvions reprenant des sols et roches-mères, en amont dans la pente, de type pédosédiments.
PED9019	Sables silteux à gravillons, mal classés, brunâtres (7,5 YR 3/2), sans litage apparent, à porosité assez faible (10%). Grains calcitiques et micacés nettement altérés. Matrice exempte de carbonate. Charbons de bois épars, plus abondants au contact supérieur, qui est de type érosif.	Horizon d'altération peu épais, faiblement évolué, tronqué au sommet par érosion. Sol 1 de BW-est.
COL9018	Sables gravillonneux, dans matrice silteuse brunâtre, assez poreux, avec grains minéraux à différents stades d'altération. Plusieurs phases d'illuviation de carbonates. Charbons de bois.	Colluvions riches en charbons de bois.
RUS9017	Événement absent dans les échantillons.	–
INC9016	Événement absent dans les échantillons.	–
CB9015	Sables riches en graviers grisâtres, mal classés, de porosité moyenne (20%). Éléments en général peu corrodés. Charbons de bois épars. Carbonates secondaires bien développés.	Colluvions riches en graviers, peu ou pas altérés.
TOR9013	Sables gravillonneux gris foncé, bien classés, à tendance au litage, de porosité élevée (30%) et de microstructure à entassement de grains. Éléments en partie altérés. Charbons de bois émoussés. Contact inférieur érosif, avec reprise du sédiment sous-jacent.	Dépôt de ruissellement torrentiel.
INC9014	Silts sableux à gravillons, brun foncé (7,5 YR 3/2), assez poreux (15%), très bioturbés. Grains minéraux parfois brûlés, avec carbonates un peu corrodés. Abondants débris organiques brûlés. Matrice ponctuée de microcharbons, grains revêtus de colloïdes. Charbons de bois abondants (5%).	Base d'un horizon humifère avec traces de feu, érodé au sommet. Sol 2 de BW-est, incendié.
PED9012		
TOR9024	Sables silteux, sans litage apparent, poreux (25%), à grains minéraux en partie brûlés. Contact inférieur érosif, souligné par des gravillons. Charbons de bois arrondis.	Dépôt de ruissellement local, très mince.
PED9010	Silts limoneux à rares gravillons, brun foncé (7,5 YR 3/2), assez poreux (15%), très bioturbés. Grains minéraux généralement altérés. Pigmentation de la masse par des oxydes de fer. Rares carbonates secondaires. Charbons de bois abondants (5%).	Horizon d'altération sur colluvions, à évolution peu poussée. Tronqué au sommet. Sol 3 de BW-est.
COL9023	Sables silteux à gravillons lités, d'aspect panaché (brun-gris 10YR3/4). Porosité 20%. Altération des grains peu marquée. Carbonates illuviaux bien développés (hyporevêtements et pendeloques). Repose sur un contact d'érosion.	Colluvions remaniant des formations peu pédogénisées.
PED9008	Sables silteux à gravillons, brun foncé (7,5 YR 3/2), à faible porosité, très bioturbés, à microstructure en chenaux et chambres. Les grains minéraux sont altérés, surtout vers le sommet où se trouvent des fragments organiques; dans la matrice les éléments calcitiques sont en voie de dissolution complète. Carbonates secondaires, racinaires et, vers le sommet, enrobement des grains par des colloïdes brunâtres. Rares charbons de bois roulés.	Horizon d'altération assez faiblement marqué, juste sous-jacent à l'horizon humifère. Erodé au sommet. Sol 4 de BW-est.
RUS9007	Sables silteux à gravillons, brun-gris (10YR 3/2), à litage apparent.	Dépôt de ruissellement.

Fig. 130 — Waldmatte-est: résultats de l'analyse micromorphologique de la séquence de la tranchée Tr.2.

9.3.1.2 *La tranchée Tr.2: aperçu stratigraphique*

Dans cette tranchée d'une trentaine de mètres de longueur (coupes t2a à t2e) et approfondie sur une dizaine de mètres (coupe t2b), la succession des couches de la séquence médiane atteint une puissance de 1m environ. Elle s'insère entre des dépôts de gravité de l'Holocène ancien et des remblais attribuables au premier âge du Fer. Les sols, au nombre de quatre³⁰⁴, ont été répertoriés sur le terrain essentiellement grâce à leur coloration brun-rouge (5YR-7,5YR3/2); nous les avons dénommés de haut en bas «sol 1 à sol 4 de BW-est». Développés sur substrat silto-sableux de teinte originale gris olive (10YR 3/2), ces sols ont une épaisseur maximale de 30cm. Leur limite inférieure, graduelle, évoque une évolution sur place des dépôts, tandis que leur contact supérieur, très net, traduit plutôt une ablation.

9.3.1.3 *Micromorphologie*

Le tableau de la fig. 130 présente les principaux résultats de l'analyse micromorphologique ciblée sur les sols de la tranchée Tr.2. Dans la colonne de gauche figurent la succession des événements pédosédimentaires exprimés dans la coupe t2b uniquement, qui permet d'établir les liens avec l'étude géologique globale du site (fig. 129). Ces événements sont rappelés entre parenthèses dans le texte ci-après.

Caractères communs

A l'exception du sol 2 de BW-est (PED9012), mieux exprimé dans la tranchée Tr.3, les sols fossiles comprennent un horizon B d'altération. Ces horizons se développent sur du sédiment relativement fin en regard de la granulométrie globale des dépôts et leur porosité est en général plus faible (10-15%) que celle des autres formations. Ils renferment de nets indices de colonisation par la végétation et la pédofaune, tels que terriers, débris organiques, racines calcifiées et nodules ferromanganiques. Leur degré d'évolution semble en outre moins avancé que ceux de la séquence de Waldmatte-ouest et de Bildacker: d'une part, les grains minéraux, bien qu'altérés, contiennent encore un peu de calcite; d'autre part, les enrobements d'oxydes de fer autour de ces grains sont plus discrets, ce qui pourrait expliquer la teinte un peu moins rouge des sols de Waldmatte-est, en comparaison des horizons rubéfiés des deux autres zones (fig. 131).

Le sol 4 de BW-est

Situé vers la base du profil, ce sol se compose uniquement d'un horizon B (PED9008) développé sur des dépôts de ruissellement (RUS9007). Vers son sommet, l'apparition à l'échelle microscopique de fragments de matière organique, présente également sous forme de fins revêtements de grains, indique la proximité d'un horizon humifère (fig. 132); celui-ci a cependant disparu, suite à une érosion peut-être en relation avec un épisode torrentiel enregistré en Tr.3 uniquement (TOR9009). Les carbonates illuviaux, développés principalement en hyporevêtements autour des pores, indiquent une colonisation secondaire par des racines provenant des niveaux supérieurs. On en déduit que le sol 4 de BW-est résulte d'une seule phase de pédogenèse qui a été interrompue par un épisode d'érosion, avant l'accumulation des dépôts colluviaux qui le recouvrent.

³⁰⁴ Un cinquième sol plus ancien (sol 5 de BW-est) a été repéré dans la tranchée Tr.3 mais n'est pas abordé ici car il n'a fait l'objet d'aucune analyse micromorphologique.

Le sol 3 de BW-est

Assez semblable au précédent, ce sol correspond à un horizon B d'altération (PED9010) généré sur des colluvions (COL9023) montrant une accumulation de carbonates secondaires (horizon C_{Ca}). À l'instar du sol 4, sa limite supérieure, abrupte, indique une troncature d'érosion résultant d'un épisode torrentiel, responsable également de la mise en place d'un mince niveau de sables (TOR9024). Cet apport minérogène, peu altéré, a stoppé l'évolution du sol 3.

Le sol 2 de BW-est

Sur ce revêtement sableux va se développer un sol humifère, dont seule la base est conservée (PED9012). En réalité, il semble que ce sol soit mieux exprimé vers l'ouest, comme en témoigne la tranchée Tr.3, dans laquelle malheureusement aucun échantillon n'a été prélevé. Le fait marquant concernant cet horizon réside dans l'abondance des charbons de bois associée à l'oxydation périphérique des particules minérales, qui comprennent des fragments calcitiques transformés en chaux: ces indices témoignent incontestablement d'un passage du feu à la surface du sol 2 de BW-est (fig. 131). Cet épisode d'incendie (INC9014) précède la mise en place de dépôts torrentiels (TOR9013) ayant érodé la partie sommitale de ce sol humifère.

Le sol 1 de BW-est

S'individualisant dans la partie sommitale de la séquence, ce sol consiste à nouveau essentiellement en un horizon B, mais peu évolué cette fois (PED9019). Il est généré à partir de colluvions (COL9018) mises en place après des phases de ruissellement (RUS9017) et d'incendie (INC9016) coiffant d'épaisses coulées boueuses (CB9015). À l'échelle microscopique, on décèle par ailleurs dans ces colluvions plusieurs générations de carbonates secondaires, qui forment un horizon C_{Ca} . Erodé au sommet, le sol 1 de BW-est est recouvert d'une formation colluviale (COL9020) qui, sous lame mince, présente des différences notables avec un sol développé in situ: il s'agit en fait de dépôts provenant du démantèlement des sols localisés en amont dans la pente, additionnés de particules peu altérées issues des roches-mères. Leur contact supérieur, de type érosif, voit latéralement s'insérer un épisode torrentiel (TOR9021). Au-dessus de cette limite abrupte se trouvent des colluvions assez comparables, mais qui renferment des grains minéraux brûlés et d'abondants charbons de bois (COL9022). En plus des reprises successives des sols et des substrats, des dépôts post-incendie participent donc également à leur genèse. Cette mise en place par étapes s'est déroulée avant celle des couches du Premier âge du Fer qui terminent la séquence (HABITAT).



Fig. 131 — Vue sous microscope de l'horizon B rubéfié du sol 2 de BW-ouest (échantillon GM37, lumière analysée, largeur: 4.5 mm).



Fig. 132 — Vue sous microscope de l'horizon humifère du sol 4 de BW-est (échantillon GM64, lumière analysée, largeur: 2.25 mm).



Fig. 133 — Vue sous microscope de l'horizon humifère à traces de feu du sol 2 de BW-est (échantillon GM63, lumière analysée, largeur: 4.4 mm).

9.3.1.4 Synthèse partielle: succession des événements

Cette interprétation phénoménologique de la séquence compilée de Waldmatte-est se fonde sur les résultats de l'étude micromorphologique, complétés par des observations de terrain dans le cas des unités non analysées (désignées par un astérisque; voir aussi fig. 129)³⁰⁵.

- **RUS9007** *Mise en place de dépôts sablo-silteux issus d'un ruissellement superficiel dans la pente. Deux dates radiocarbone sont disponibles pour la période englobant cet événement (voir chap. IV, pp. 94 sqq.): 6416-6063 BC cal. 2σ³⁰⁶ et 6072-5759 BC cal. 2σ³⁰⁷.*
- **PED9008** *Suite à une fixation par un couvert végétal forestier, un sol brun (= sol 4 de BW-est) se développe sur ces sédiments. Il s'agit du premier épisode de pédogenèse bien enregistré dans la séquence, suffisamment long pour que l'horizon B de ce sol acquière une légère rubéfaction.*
- **TOR9009*** *Suite à une ablation peut-être en relation avec un événement torrentiel enregistré surtout vers l'ouest du secteur, la partie sommitale de ce sol est érodée.*
- **COL9023** *Consécutivement à cet épisode, des formations colluviales mobilisant des terrains peu altérés se mettent en place.*
- **PED9010** *Le versant reprend un profil d'équilibre et la végétation le colonise à nouveau: ceci permet le développement d'un sol brun faiblement rubéfié (= sol 3 de BW-est).*
- **TOR9024** *Suite à un ruissellement superficiel, les horizons supérieurs de ce deuxième sol sont érodés et un mince niveau sableux recouvre ce dernier.*
- **CDG9011*** *Latéralement, à l'ouest du secteur, ce ruissellement est suivi par une coulée de débris.*
- **PED9012** *Après stabilisation, la pédogenèse affecte ces apports du versant, menant à la formation d'un sol humifère peu épais (= sol 2 de BW-est).*
- **INC9014** *Episode d'incendie: passage du feu à la surface de ce sol peu évolué.*
- **TOR9013** *Erosion, puis recouvrement du sol 2 suite à un ruissellement torrentiel.*
- **CB9015** *Le ruissellement est suivi par le dépôt d'une coulée boueuse.*
- **INC9016*** *Episode d'incendie, daté de 3348-3027 BC cal. 2σ³⁰⁸.*
- **RUS9017*** *Ruissellements localisés.*
- **COL9018** *Mise en place de colluvions renfermant des charbons de bois.*
- **PED9019** *Reconquête de la végétation et développement d'un sol brun sur ces colluvions (= sol 1 de BW-est). Deux datations ¹⁴C obtenues dans la tranchée Tr.1 montrent que cette pédogenèse est postérieure à 2400-2000 BC cal. 2σ; elles proviennent d'une courte séquence de dépôts de pente³⁰⁹ et d'incendie³¹⁰, parallèle aux événements RUS9017 et COL9018 de la tranchée Tr.2, et constituant à cet endroit le substrat de PED9019.*
- **TOR 9025*** *Suite à une ablation peut-être en relation avec un événement torrentiel enregistré surtout vers l'est du secteur, la partie sommitale de ce sol est érodée.*
- **COL9020** *Mise en place de colluvions de type pédosédiments, remaniant en partie des sols situés en amont dans la pente.*
- **TOR9021*** *Erosion puis mise en place localisée de dépôts torrentiels peu épais.*
- **COL9022** *Accumulation en plusieurs étapes de colluvions mobilisant en particulier des dépôts post-incendie.*
- **HABITAT** *Occupation humaine, implantation de l'habitat du Premier âge du Fer.*

305 On remarquera certaines récurrences dans cette succession d'événements. La signification de cette tendance est discutée au chapitre IV.

306 ARC264 (EA56): 7370 ± 90 BP. Branche carbonisée prélevée dans la tranchée Tr.3 (ta/76).

307 ARC265 (EA36): 7070 ± 80 BP. Charbons de bois prélevés dans la tranchée Tr.1, dans le substrat du sol PED9008 (t1w/130a-131).

308 ARC1384 (ES482): 4482 ± 40 BP. Fragment de souche carbonisée prélevé dans la tranchée Tr.2 (t2b/9c).

309 ARC263 (EA35): 4090 ± 70 BP; 2872 - 2488 BC cal. 2σ. Charbons de bois prélevés dans les couches t1w/127-128.

310 ARC510 (EA71): 3800 ± 50 BP; 2456 - 2050 BC cal. 2σ. Fragment de souche carbonisée (t1w/126a).

9.3.2 WALDMATTE-OUEST

9.3.2.1 Présentation

D'une profondeur maximale de 4m, les sondages Tr.15 et Tr.19 ont été effectués dans la partie occidentale du site de Waldmatte, à l'emplacement d'un replat bien marqué dans le paysage. La séquence médiane, constituée d'une succession pédosédimentaire, peut y atteindre 50 cm d'épaisseur par endroits. Nos investigations ont concerné les coupes Stg 575 du sondage Tr.15 et Stg 578/Stg 579 du sondage Tr.19 (fig. 134).

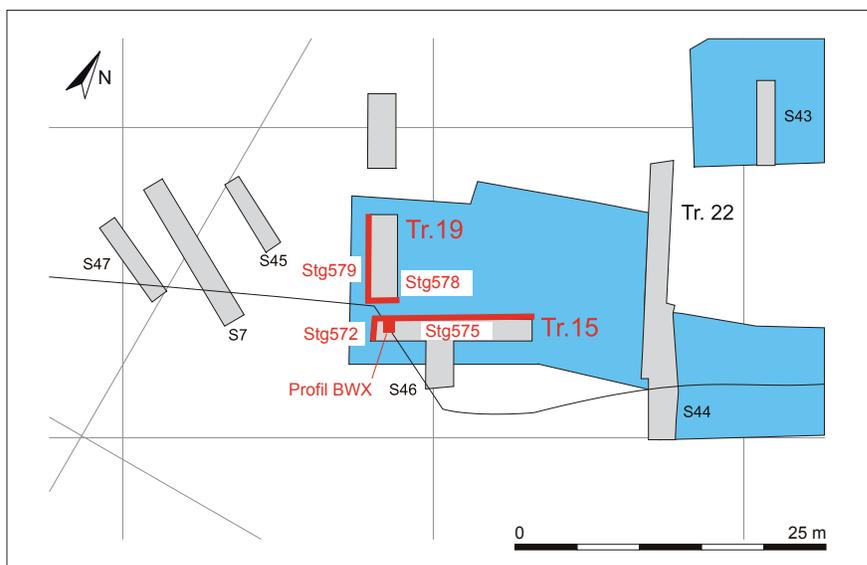


Fig. 134 — Waldmatte-ouest, localisation des coupes de terrain étudiées (voir plan de situation générale, fig. 126).

9.3.2.2 Aperçu stratigraphique

Tr.15 (stratigraphie Stg 575, fig. 135)

La base du profil est constituée de dépôts glacio-lacustres tardiglaciaires montrant d'importantes structures de déformation. Des sédiments graveleux brun olive leur succèdent et passent progressivement vers le haut à un horizon d'altération brun rougeâtre de 35 cm d'épaisseur, dénommé sol 2 de BW-ouest. À cet horizon se superpose une couche de limons bruns à graviers, dont l'épaisseur augmente vers l'aval et qui, dans la partie est du profil, recouvre de manière discordante les sédiments fins du Tardiglaciaire. Ces limons graveleux correspondent à des colluvions. Au sommet de la coupe, on trouve des limons de débordement de bisses d'époque moderne.

Tr.19 (stratigraphies Stg 578- Stg 579, fig. 136)

Les coupes sud et ouest du sondage Tr.19 livrent une information plus détaillée. Un ensemble basal correspond à des paquets de sédiments glacio-lacustres déformés, associés à des dépôts gravitaires à litage chaotique. Dans une petite dépression, un horizon d'altération de couleur rouge foncé assez intense (5YR3/6) est conservé sur cet ensemble. Ce sol inférieur, ou sol 2 de BW-ouest, atteint une épaisseur de 35cm, y compris l'horizon de transition à sa base. Sa limite supérieure correspond à une évidente troncature d'érosion. D'extension latérale plus large, le sol 1 de BW-ouest

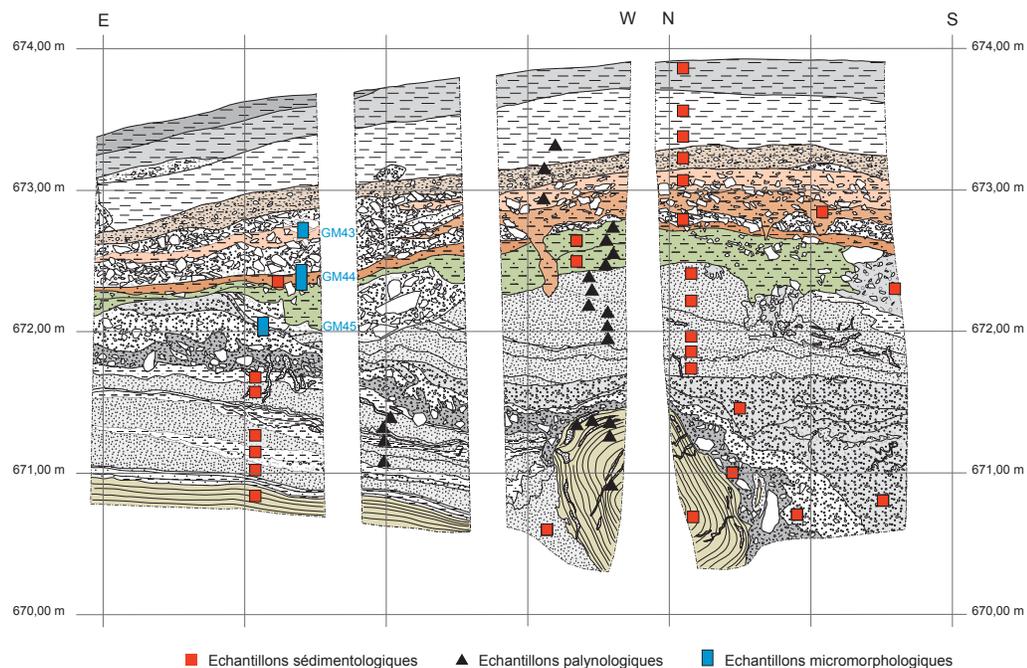


Fig. 135 — Waldmatte-ouest, partie occidentale du relevé de la coupe stratigraphique Stg 575 (Tr.15) avec, en bleu, la situation des échantillons micromorphologiques.

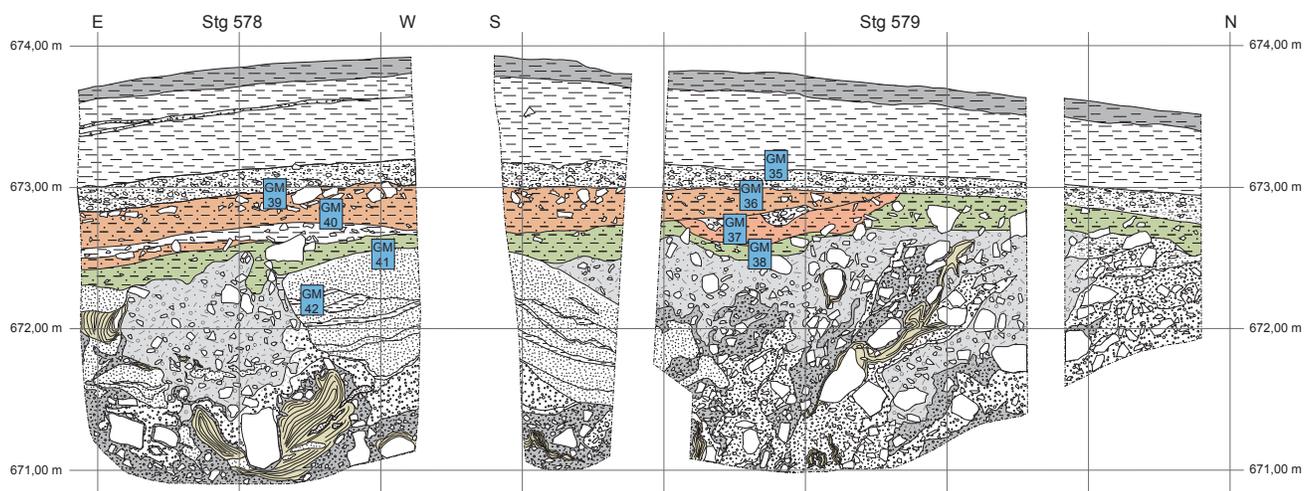


Fig. 136 — Waldmatte-ouest, coupes stratigraphiques Stg 578 et Stg 579 (Tr.19) avec, en bleu, la situation des échantillons micromorphologiques.

présente une partie inférieure brun foncé, tandis que sa partie supérieure s'avère, sous lame mince, d'origine colluviale. Dans ce sondage également, les limons de débordement de bisses et l'horizon humifère actuel constituent les sédiments les plus récents; ils ont contribué à la bonne conservation des sols fossiles.

Dans cette partie du site, l'analyse micromorphologique a concerné le sommet des sédiments tardiglaciaires et bien sûr les sols sus-jacents. Alors que le sondage Tr.15 a révélé une stratigraphie condensée, avec un seul horizon d'altération coiffé par des colluvions plus récentes, les traces de deux pédogenèses *in situ* ont été identifiées dans le sondage Tr.19, sur un substrat glacio-lacustre. Ce dernier recèle des traits micromorphologiques qui parlent en faveur de conditions périglaciaires lors de sa mise en place.

9.3.2.3 Micromorphologie

Tr.15 (stratigraphie Stg 575)

Les résultats de l'examen sous microscope peuvent s'interpréter comme suit (fig. 137).

Couche	Micromorphologie	Interprétation
1	–	Horizon humifère actuel.
2	–	Dépôt de débordement des bisses.
3	Limon sableux riche en gravillons. Matrice micacée décarbonatée de couleur brune. Grains minéraux à différents stades d'altération, présence également de calcschistes. Microstructure à chenaux et chambres, porosité faible (10%). Charbons de bois émoussés.	Colluvions, remaniant la partie sommitale de l'horizon d'altération sous-jacent.
4	Limon sableux à gravillons altérés. Matrice décarbonatée brune à brun rougeâtre (5YR 4/3), riche en micas oxydés. Calcschistes très corrodés, nodules ferrugineux et liseré d'oxydation au pourtour des grains. Porosité faible. Charbons de bois épars.	Horizon d'altération d'un sol brun rubéfié, développé sur des colluvions. Sol 2 de BW-ouest.
5	Sables silteux à gravillons. Matrice carbonatée de couleur brune (10YR 4/3). Microstructure à chenaux et chambres, porosité moyenne. Illuviation de carbonates et bioturbation, suivies d'une illuviation poussiéreuse. Au sommet de la couche, indices d'altération sous forme de zones décarbonatées et de liserés oxydés au pourtour des grains.	Colluvions, horizon de transition.
6	Sables grossiers à gravillons, surmontés d'un silt sableux micacé de couleur gris olive (5Y 5/3). Dans la couche inférieure, les sables sont légèrement arrondis, peu altérés et comprennent des granites, des gneiss, des micaschistes et quelques calcschistes. Microstructure à entassement de grains avec une forte porosité (25%), plus faible dans le silt sus-jacent (10%). Traces de gel sous forme de gravillons redressés, de composants légèrement fracturés et d'une fissuration subparallèle dans les parties limoneuses. Pendeloques calcitiques sur de nombreux grains minéraux. Forte illuviation de carbonates, cimentation partielle du sédiment.	Sédiment glacio-lacustre ayant subi des alternances gel-dégel. Deux phases d'illuviation de carbonates.

Fig. 137 — Waldmatte-ouest, tranchée Tr.15: résumé de l'analyse micromorphologique.

L'échantillon provenant de la partie supérieure de la séquence attribuée au Tardiglaciaire (couche 6), montre des traces de gel fossiles sous forme de graviers redressés, de granites fracturés et d'une structure lamellaire. Une telle microstructure se forme dans un milieu saturé en eau et soumis à une alternance gel-dégel répétée. Le substrat sédimentaire se constitue de sables silteux gris-beige, à gravillons épars, passant vers la base à des sables plus grossiers. Ces dépôts résultent d'une mise en place en milieu lacustre (BW-X, ensemble sédimentaire VI, voir annexe 12). Le diagnostic micromorphologique soulève la question de l'impact du gel-dégel, à savoir dans quelle mesure celui-ci n'est pas responsable des déformations observées dans les dépôts, du moins dans leur partie superficielle (voir chapitre II, pp. 64 sqq.).

Sur le terrain, macroscopiquement, une structure lamellaire était déjà distinguable dans ces limons. L'analyse microscopique a confirmé cette observation puisqu'un réseau de fissures parallèle se développe effectivement dans tout le sédiment silteux (fig. 138). Subhorizontales, inclinées de quelques degrés seulement, ces fissures isolent des lamelles de sédiment d'une épaisseur de 1,5 mm environ. Elles sont revêtues de carbonates secondaires et des concrétions calcitiques racinaires viennent s'y loger. Plus bas dans la séquence, cette fissuration disparaît en raison du changement de granulométrie: on passe en effet à un niveau de sables très poreux (20-30% de vides), dépourvu de matrice, et par conséquent moins sensible au gel.



Fig. 138 — Vue sous microscope des silts glaciolacustres soumis à du gel-dégel (microstructure lamellaire, réseau de fissures parallèles). (Echantillon GM45, lumière analysée, largeur: 3.4mm).

La microstructure lamellaire résulte d'un débitage du sédiment par des lentilles de glace de ségrégation. Expérimentalement, elle a pu être acquise sur sédiment limono-sableux après six cycles gel-dégel seulement³¹¹. L'absence de tout autre trace cryogénique indique que, dans le cas de Waldmatte, le nombre de ces alternances est resté inférieur à 50 environ³¹². Ce «coup de gel» s'insère chronologiquement au cours de la stabilisation du sédiment par drainage latéral, après disparition des conditions lacustres paraglaciales. Il a eu lieu vraisemblablement entre deux phases de sédimentation, mais avant les premiers effets de l'altération qui ont affecté la partie sommitale de la séquence.

Les précipitations de carbonates secondaires, postsédimentaires, se placent plus tardivement dans l'évolution du profil que les traces de gel. Elles résultent de plusieurs phases génétiques et sont en relation avec la pédogenèse. Deux types de concrétions ont été observés.

311 VAN VLIET-LANOË 1987.

312 VAN VLIET-LANOË 1985.

Il s'agit d'une part d'encroûtements développés sur la face inférieure des composants (fig. 139), dénommées pendeloques calcaires zonées³¹³. Van Vliet-Lanoë a pu démontrer que ces revêtements étaient d'origine biologique et se formaient préférentiellement sous des sols bien drainés et végétalisés³¹⁴. Selon ce même auteur, le développement de telles pendeloques est favorisé par un climat froid. Par conséquent, nous supposons qu'elles se sont développées au cours d'un stade préliminaire dans l'évolution pédogénétique, ce qui explique l'absence de telles concrétions dans les dépôts de bisses modernes, pourtant riches en carbonates. D'autres auteurs arrivent également à la conclusion que, dans le domaine arctique, la formation de pendeloques carbonatées s'amorce avant le développement d'un horizon B et qu'il n'y a pas lieu d'établir une relation étroite entre les deux processus³¹⁵. Dans Tr.15, on observe des précipitations analogues au sein même de la matrice, en particulier le long de discontinuités³¹⁶. Nous supposons que la genèse de ces pendeloques est le résultat d'une phase précoce de la pédogenèse qui s'insère chronologiquement à la fin du Tardiglaciaire.



Fig. 139 — Vue sous microscope des sables tardiglaciaires. On distingue les encroûtements carbonatés développés sur la face inférieure des grains minéraux. À gauche, des gravillons redressés suite au gel-dégel (échantillon GM45, lumière analysée, largeur: 3.4 mm).

D'autre part, les manchons racinaires constituent un autre type de concrétions calcitiques bien cristallisées. Ces nodules résultent d'une pédogenèse prolongée dans des conditions de milieu stables³¹⁷. Il semble fort probable que ce deuxième type de concrétion carbonatée soit en liaison avec le développement des sols à l'Holocène.

La couche 4 correspond à l'horizon d'altération d'un sol brun que nous avons dénommé sol 2 de BW-ouest³¹⁸ et dont les caractéristiques micromorphologiques sont conformes au type défini plus haut. Vu l'épaisseur totale de cet horizon, ainsi que sa rubéfaction prononcée (5YR4/3), on peut postuler qu'il résulte d'une phase de stabilité du versant relativement longue, sous un couvert végétal plutôt dense. Le contact avec les dépôts glacio-lacustres montre un horizon de transition légèrement altéré qui correspond au substrat colluvial (couche 5) sur lequel s'est développé le sol brun. Une deuxième couche de colluvions (couche 3), plus récente, coiffe l'horizon d'altération, ou couche 4. Elle s'individualise par l'état d'altération variable des graviers minéraux, par un degré d'oxydation plus faible que celui du sol sous-jacent et par un pourcentage plus élevé de charbons de bois, qui sont émoussés.

313 BLANK et FOSBERG 1990.

314 VAN VLIET-LANOË 1988.

315 COURTY *et al.* 1994.

316 Par exemple un contact entre deux couches de granulométrie différente, ou bien de texture semblable mais de porosité distincte.

317 BECZE-DEÁK *et al.* 1997.

318 Le sol supérieur (sol 1 de BW-ouest) qui existe sur 5m dans la Tr.15, n'a pas fait l'objet d'un prélèvement micromorphologique à cet endroit. Par contre, ce sol a été échantillonné et étudié dans la Tr.19.

Le sol 1 de BW-ouest se développe sur ces colluvions (couche 3). Il est tronqué suite à une érosion importante qui s'insère avant l'accumulation des dépôts de bisses de texture silteuse.

Tr.19 (Stg 578 et Stg 579)

Le tableau de la figure 140 reprend les résultats les plus importants de l'analyse micromorphologique. À l'instar du profil de Tr.15, les sédiments glacio-lacustres tardiglaciaires occupent le pied de la séquence. Déformés, ceux-ci renferment également des calcaires secondaires, dont le développement est à mettre en relation avec la décarbonatation des couches sus-jacentes. Sous microscope, aucune trace de gel fossile n'apparaît en revanche dans la couche 7: son faciès sableux, peu gélif, ne paraît ainsi pas favorable au développement d'une telle microstructure³¹⁹.

319 VAN VLIET-LANOË 1988.

Couche	Micromorphologie	Interprétation
1	–	Horizon humifère actuel.
2	–	Dépôt de débordement des bisses.
3	Limon sablo-graveleux à matrice carbonatée de couleur brun-jaune (10YR4/3). Grains minéraux à différents stades d'altération. Forte bioturbation: structure agrégée, porosité moyenne (20%), chenaux et chambres, concrétions calcitiques de lombrics. Illuviation de carbonates. Présence de matière organique décomposée. Tests de gastéropodes. Rares paillettes de charbons de bois.	Colluvions humifiées.
4	Sables limoneux à graviers, plus graveleux vers la base. Matrice de couleur brun foncé (7,5YR3/4). Microstructure à chenaux et chambres, porosité moyenne. Décarbonatation complète, oxydation généralisée des fragments de roches. Calcschistes très corrodés. Accumulation de particules poussiéreuses dans les pores et dans la matrice. Charbons de bois roulés, présence d'un fragment d'os brûlé et de matière organique brûlée.	Horizon d'altération d'un sol brun, développé sur des colluvions post-incendie. Sol 1 de BW-ouest.
5	Limon sableux à gravillons. Matrice argilo-silteuse de couleur brun-rouge foncé (5YR4/6), plus abondante vers la base. Présence de gneiss, granites, micaschistes et calcschistes fortement altérés. Accumulation de particules poussiéreuses et oxydes de fer dans les pores et autour des grains. Nodules ferrugineux. Décarbonatation complète, présence de calcschistes très corrodés. Microstructure à chenaux et chambres, porosité faible. Au sommet, traces de bioturbation et charbons de bois épars.	Horizon d'altération d'un sol brun rubéfié, développé sur des colluvions. Erodé au sommet. Sol 2 de BW-ouest.
6	Limon sableux à gravillons. Matrice décarbonatée de couleur brun olive (5YR3/6). Microstructure à chenaux et chambres, porosité de 15%. Oxydation généralisée des composants: gneiss et granites à micas altérés, calcschistes très corrodés, fragments de quartz à veines oxydées. Nodules ferrugineux. Accumulation de particules poussiéreuses.	Colluvions, base de l'horizon d'altération.
7	Sables jaunes (2,5YR6/4) fins, bien triés (médiane: 100µ), avec des intercalations silteuses microlitées, avec dominance des quartz et micas, ainsi que quelques grains de carbonates (env. 5%) et amphiboles. Déformations après mise en place. Microstructure à entassement de grains, faible porosité. Illuviation de carbonates, préférentiellement entre les lits silteux.	Sédiment glacio-lacustre non altéré. Horizon d'accumulation de carbonates.

Fig. 140 — Waldmatte-ouest, tranchée Tr.19: résumé de l'analyse micromorphologique.

Dans la partie centrale de Tr.19 (Stg 579), un premier horizon d'un rouge assez intense (couche 5, 5YR4/6), dénommé sol 2 de BW-ouest, est conservé dans une petite dépression. Ses caractéristiques microscopiques correspondent à celles d'un sol brun rubéfié. En effet, tous les traits pédologiques typiques d'un horizon B y

sont réunis, y compris un enrichissement en particules fines et en oxydes de fer autour des composants, ainsi que le long des pores. Ce sol brun s'est développé sur un substrat d'origine probablement colluviale, à savoir la couche 6. La préservation de cet horizon s'explique par l'existence d'une petite dépression dans la pente et par le recouvrement de cette dernière par des colluvions. Ailleurs dans la tranchée, il a subi une ablation totale, comme le montre la partie ouest de la stratigraphie Stg 578, où le profil est tronqué jusqu'à l'horizon C. Sous microscope, on remarque que l'horizon A, humifère, fait défaut, bien que la densification des traces de bioturbation et l'enrichissement en charbons de bois suggèrent que la surface du sol de l'époque soit sus-jacente.

Après la mise en place de colluvions coiffant ce premier sol de faible extension latérale, une deuxième phase de pédogenèse affecte ces dépôts colluviaux, ou couche 4: elle mène ainsi à la formation d'un deuxième sol brun que nous dénommons sol 1 de BW-ouest. Les traits microscopiques de cet horizon, tels que charbons de bois roulés, ou fragments d'os et agrégats de sol brûlés, indiquent qu'il s'est développé sur des colluvions (fig. 141). Ce deuxième sol, nettement moins rouge que le précédent (7,5YR3/4), a également été tronqué par l'érosion avant d'être recouvert sous des colluvions hétérogènes (couche 3). Ces dernières montrent les traces d'un début de pédogenèse, à savoir une humification, dont l'évolution a été stoppée suite au recouvrement par des dépôts de bisses carbonatés, plus récents.



Fig. 141 — Waldmatte-ouest: vue sous microscope de colluvions (échantillon GM35, lumière analysée, largeur: 4.5 mm).

9.3.2.4 Synthèse partielle: succession des événements

Sur la base des observations de terrain et des résultats de laboratoire, nous pouvons proposer une reconstitution phénoménologique. Les correspondances avec les événements identifiés dans la synthèse chronostratigraphique sont mentionnées entre parenthèses (voir fig. 144).

- Le premier événement enregistré dans la séquence consiste en la mise en place de dépôts fins dans un milieu glacio-lacustre (BW-X, ensemble sédimentaire VI).
- Suite à un probable abaissement du niveau de l'eau, ces sédiments lacustres émergent et sont affectés par une ultime phase de déformation plastique.

- Des alternances gel-dégel mènent à la formation de lentilles de glace dans ces mêmes dépôts. Après fonte de cette glace dite de ségrégation, une structure lamellaire subsiste. Ce même pédoclimat semble avoir favorisé une décarbonatation précoce des sédiments fins, ainsi que la formation de pendeloques carbonatées sur les faces inférieures des graviers sous-jacents.
- Suit un premier épisode de colluvionnement (BW-X, VIII).
- Ces colluvions sont ensuite soumises à une altération pédogénétique qui mène à une précipitation de carbonates secondaires dans les sédiments tardiglaciaires. La pédogenèse se poursuit durant une longue période de stabilité du versant. Sous couvert végétal de type forestier, un sol brun rubéfié se forme (sol 2 de BW-ouest) (BW-X, IX).
- Episode d'incendie probable, déclenchant une rupture d'équilibre à l'échelle du versant: cet événement marque ainsi le début d'une nouvelle dynamique sédimentaire.
- Suit une phase d'érosion affectant le sol 2. Celui-ci n'est que partiellement conservé.
- La déstabilisation du versant conduit à une accumulation de colluvions post-incendie en bas de pente jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre soit atteint (BW-X, X).
- Longue période de stabilité qui permet à nouveau le développement d'un sol brun rubéfié sur les dépôts de pente (sol 1 de BW-ouest) (BW-X, XI).
- Déstabilisation du versant et érosion de la partie sommitale de ce sol.
- Recouvrement du sol 1 par des colluvions (BW-X, XIII).
- Après stabilisation, la pédogenèse reprend pendant une courte période et un horizon humifère se développe au sommet du profil (BW-X, XIII sup.).
- Le coteau de Waldmatte-ouest est exploité pour l'agriculture (vergers et prairies): des dépôts de bisse viennent recouvrir ce sol humifère, peu évolué, et forment une séquence d'accrétion assez épaisse (BW-X, XIV). Le sol humifère actuel se trouve au sommet de cette dernière (BW-X, XV).

9.3.3 BILDACKER

9.3.3.1 *Présentation*

Le gisement de Gamsen-Bildacker est situé sur un petit promontoire à l'extrémité orientale du coteau de Gamsen. Des analyses micromorphologiques ont été réalisées dans quatre sondages (BB-S14 à BB-S17, voir chapitre III), cependant nous avons privilégié ci-dessous les données du sondage BB-S16 pour aborder la problématique paléopédologique (fig. 142). Mentionnons simplement qu'un horizon d'altération peu important a été observé dans le sondage BB-S15, tandis qu'un tuf calcaire est apparu sous les couches protohistoriques, dans le sondage BB-S14. Les profils de Bildacker apportent un complément pertinent à la séquence de sols enfouis présentée dans les deux chapitres précédents. Nous avons cependant renoncé à établir une

reconstitution phénoménologique à partir de cette séquence, dans la mesure où celle-ci s'avère très condensée, beaucoup moins complète que celles de Waldmatte.

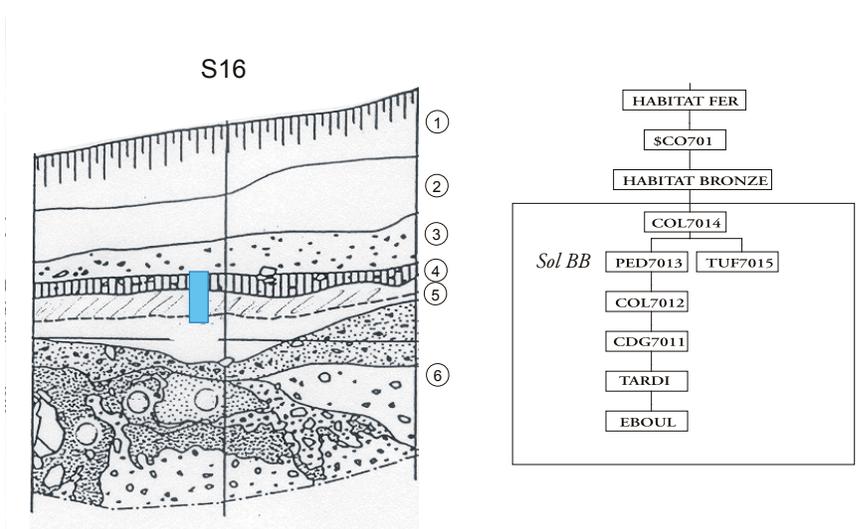


Fig. 142 — Bildacker, relevés de la coupe stratigraphique du sondage S16, avec localisation de l'échantillon micromorphologique (en bleu). Pour la situation en plan du sondage, voir Fig. I. À droite, la séquence stratigraphique. Le sol BB correspond à la couche 4 du sondage.

9.3.3.2 Aperçu stratigraphique

Les sondages de Bildacker ont mis au jour la succession suivante. À la base tout d'abord, on trouve les traces d'un écoulement du Glishorn auquel se superpose un complexe constitué de sédiments glacio-lacustres très déformés, vraisemblablement tardiglaciaires. Dans le sondage BB-S16, le complexe glacio-lacustre est recouvert par une coulée de débris et par un premier dépôt de colluvions: un horizon d'altération se développe dans la partie supérieure de celles-ci. Le niveau pédogénisé est recouvert par un nouveau nappage de colluvions, elles-mêmes sous-jacentes aux premières traces d'occupation sur le site, datées de l'âge du Bronze³²⁰.

9.3.3.3 Micromorphologie

Les résultats des analyses microscopiques peuvent être résumés de la manière suivante (fig. 143). La couche 4 brun-rougeâtre, qui apparaît dans les deux sondages, correspond à l'horizon d'altération *in situ* d'un sol brun. Alors que dans le sondage BB-S16, la pédogenèse a affecté des colluvions et n'a pas influencé les sédiments sous-jacents, le processus d'altération s'étend, dans le sondage BB-S17, jusqu'à la partie supérieure, peut-être tronquée, des dépôts limniques. Dans les deux cas, les sols fossiles ne sont pas entièrement conservés et leur partie supérieure est remplacée par des colluvions. En comparaison du site de Waldmatte, différents indices suggèrent que le site de Bildacker a été nettement moins favorable à l'enregistrement sédimentaire au cours de l'Holocène. Les phénomènes d'érosion et/ou un taux de sédimentation relativement faible sont sans doute à l'origine de la présence d'un seul sol fossile, certes bien développé. Compte tenu des raisons évoquées plus haut et faute de datation ¹⁴C, l'insertion chronologique de ce sol ne peut être précisée.

³²⁰ Deux échantillons prélevés dans la même structure (foyer en cuvette A7042): EA557: Poz-41248, 2995 ± 35 BP, 1383-1116 BC cal. 2σ et EA577: CRG 1223, 2991 ± 71 BP, 1408-1021 BC cal. 2σ.

Couche	Micromorphologie	Interprétation
1	–	Horizon humifère actuel.
2	–	Dépôt de débordement de bisse.
CO701 3	Sables limoneux à rares gravillons. Matrice de couleur brun foncé. Grains minéraux (calcschistes, gneiss, granites, quartz, hornblende, micas) à différents stades d'altération. Microstructure à chenaux et chambres, zones microagrégées, porosité moyenne. Bioturbation importante. Nodules ferrugineux remaniés. Quelques charbons de bois émoussés; un fragment de terre cuite.	Colluvions post-incendie, humifiées, enfouissant le sol brun sous-jacent.
PED7013 4	Limon sableux de couleur brun rougeâtre (5YR 4/2). Rares gravillons. Grains minéraux (gneiss, granites, micaschistes, quartz et biotites) très altérés et oxydés, décarbonatation complète. Composants à enrobement argilo-silteux ferruginisé. Microstructure à chenaux et chambres, faible porosité. Traces de bioturbation.	Horizon d'altération d'un sol brun rubéfié, développé sur des colluvions. <i>Sol de Bildacker.</i>
COL7012 5	Sables limoneux, à peine graveleux. Matrice de couleur brun olive. Diminution de la fraction limoneuse par rapport à la couche sus-jacente. Microstructure à chenaux et chambres. Porosité faible. Traces de bioturbation, décarbonatation complète. Quelques nodules ferrugineux, rares paillettes de charbons de bois.	Base de l'horizon d'altération. Colluvions.
6	–	Sédiment glacio-lacustre.

Fig. 143 — Bildacker, sondage St6: résumé de l'analyse micromorphologique.

9.4 ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE

9.4.1 LES ACQUIS RELATIFS AUX SOLS ENFOUIS

Rappelons brièvement quelques points essentiels de notre contribution. Du point de vue stratigraphique tout d'abord, les sols fossiles analysés se positionnent dans la séquence médiane entre, à la base, des dépôts glaciolacustres tardiglaciaires (profils de BW-ouest et de Bildacker) - ou des dépôts de gravité de l'Holocène ancien (profils de BW-est) - et, au sommet, les niveaux d'occupation de l'âge du Bronze ou du Premier âge du Fer. En compilant les séquences mises au jour dans les coupes de Waldmatte-est, on peut répertorier au total quatre sols principaux, un cinquième apparaissant sous forme de lentilles discontinues au fond de la tranchée Tr.3³²¹. À l'exception du sol 2 de BW-est, de type brun humifère, seuls les horizons profonds sont conservés, les niveaux supérieurs ayant subi une ablation systématique au début des épisodes de ruissellement torrentiel. Au sommet des tranchées ouvertes, au-dessus des couches archéologiques, les sols actuels formés sur dépôt de bisse ou sur colluvions montrent des traits pédologiques nettement moins évolués que ces sols fossiles: ils sont de type humifère calcaire.

Plus précisément, les sols enfouis de Gamsen se rattachent au groupe des sols bruns. À Waldmatte-ouest et à Bildacker, ils ont atteint un stade d'évolution assez avancé, qui se marque par un net enrichissement en oxydes de fer de l'horizon d'altération: ce dernier se caractérise par une coloration rougeâtre assez intense d'où l'appellation de sol brun rubéfié. Nous avons vu que cette rubéfaction est vraisemblablement due à la présence d'hématite, en coexistence avec la goéthite. La formation de cet oxyde requiert des conditions spécifiques liées surtout au substrat sédimentaire et au pédoclimat, qui paraissent bien réunies dans le cas de Gamsen (voir chapitre II). Mais il s'avère que le facteur temps joue également un rôle, par libération progressive du fer au cours de l'altération des grains minéraux. Ce processus pourrait expliquer pourquoi les sols bruns de Waldmatte-est présentent une couleur de gamme moins élevée que ceux de Waldmatte-ouest et de Bildacker³²²: dans la partie centrale du gisement, plus propice à une dynamique sédimentaire relativement active, les phases de stabilité du versant semblent avoir été d'une durée notablement plus courte.

³²¹ Il s'agit du sol PED9005 qui n'a pas fait l'objet d'une analyse micromorphologique.

³²² Soit 7.5YR pour BW-est et 5YR pour BW-ouest et Bildacker.

9.4.2 SÉQUENCE DE WALDMATTE: PHÉNOMÉNOLOGIE ET SIGNIFICATION

9.4.2.1 Introduction

Un bilan général des études pédologiques est présenté dans le tableau de la figure 144, qui tient également compte des résultats de la sédimentologie et des datations ^{14}C . La succession des événements identifiés à Waldmatte-est est listée dans la colonne de gauche. Ceux-ci ont marqué l'évolution du paysage entre le Tardiglaciaire et le Premier âge du Fer. Les phases de pédogenèse ou de morphodynamisme, chacune de durée distincte, y sont représentées. En revanche, les phénomènes d'érosion précédant généralement les processus d'accumulation sédimentaire n'y figurent pas. On trouve aussi toutes les informations chronologiques disponibles, à savoir les datations ^{14}C (voir encadré p. 220). En plus d'une insertion chronologique des processus de sédimentation, ces dernières permettent d'appréhender la durée relative des phases de pédogenèse. Dans la colonne de droite sont indiqués les événements les plus importants pour le versant de Waldmatte et explicités dans les paragraphes suivants.

HABITAT	Premier âge du Fer -700 av. J.C.	<i>Habitat</i>	
COL9022	âge du Bronze (Bildacker)	Déstabilisation de la couverture pédologique: mise en place de pédosédiments	
TOR9021			
COL9020			
TOR9025			
PED9019			Sol 1
t1w/126a	-2000 av. J.-C.	Reprise sédimentaire et incendies récurrents	
t1w/127			
t1w/128			
RUS9017	-3000 av. J.-C.	<i>Premières manifestations de la pres- sion anthropique?</i>	
INC9016			
CB9015			
TOR9013			
INC9014			
PED9012	Sol 2	Pédogenèses majeures: développement de trois sols bruns sous couvert forestier	
CDG9011	Sol 3	<i>Stabilité du versant</i>	
TOR9024			
PED9010			
COL9023	Sol 4		
TOR9009			
PED9008	-6000 av. J.-C.	Sédimentation active. Genèse d'un sol brun lors d'un bref arrêt	
t3a/76			
RUS9007			
TOR9006			Sol 5
TOR9003			
PED9005			
TOR9004	Holocène ancien	<i>Rééquilibrage du versant</i>	
CDG2002	Tardiglaciaire	Conditions périglaciaires: traces de gel et pédogenèse précoce	
EB9001			Eroulement du Glishorn

Fig. 144 — Bilan des épisodes de pédogenèse et de la dynamique sédimentaire à Waldmatte. À gauche, succession des événements reconnus à Waldmatte-est, avec les différents sols. Au centre, les éléments de chronologie à disposition (voir encadré p. 220 pour l'énoncé exact des dates ^{14}C). Commentaires dans le texte.

9.4.2.2 *Tardiglaciaire et Holocène ancien (avant 6000 av. J.-C.)*

L'écroulement du Glishorn³²³ mis en évidence par l'étude sédimentologique constitue le dépôt le plus ancien de la stratigraphie sur l'ensemble du site. À Waldmatte-ouest, celui-ci est coiffé par des sédiments glacio-lacustres du Tardiglaciaire qui ne montrent aucune trace de pédogenèse prolongée. Ces sédiments possèdent en revanche les indices discrets d'une phase d'altération initiale sous climat froid., exprimée par des traces de gel fossiles et probablement aussi par la présence de pendeloques carbonatées. La formation de ces dernières doit s'inscrire dans une phase précoce de la pédogenèse, au début de la décalcification du profil. À Waldmatte-est, la mise en place de dépôts détritiques³²⁴ fait suite à l'écroulement. Concernant le commencement de la formation des sols à l'Holocène ancien, les séquences étudiées ne nous donnent aucun point de repère précis. Cependant, pour la première pédogenèse enregistrée³²⁵, il existe des indices évidents de l'apparition d'un sol dont le développement se situe avant 6000 av. J.-C. On perçoit des signes analogues dans le secteur de Waldmatte-ouest: sur la base d'analyses palynologiques, la genèse du premier sol brun n'aurait pas débuté avant le Boréal.

9.4.2.3 *Les épisodes majeurs de pédogenèse au cours de l'Holocène*

Dans la période suivante, soit après 6000 av. J.-C., l'évolution du coteau se résume à un enchaînement de trois phases de pédogenèse à Waldmatte-est³²⁶, objet principal de notre étude. Du point de vue morphogénétique, la formation de ces sols successifs, bien que temporairement interrompue par des épisodes de ruissellement, indique une stabilité du versant. Générés à la faveur d'un couvert forestier³²⁷, ces sols bruns se sont en outre développés sur des substrats assez similaires, à savoir des dépôts de ruissellement³²⁸ et des colluvions³²⁹ issus du remaniement de terrains peu altérés. Par ailleurs, aucun indice micromorphologique de présence humaine n'a été détecté dans cette partie de la séquence.

9.4.2.4 *Reprise sédimentaire et récurrence des incendies*

Antérieur à environ 2000 av. J.-C., les prochains stades dans l'évolution de la séquence de Waldmatte-est consistent en une réactivation de la dynamique sédimentaire d'une part³³⁰ et par la répétition des incendies de forêt d'autre part³³¹. Ces incendies de forêt contribuent à la déstabilisation des versants. Le passage du feu rend en effet la couverture végétale discontinue, ce qui permet, entre autres, à l'action du gel de s'intensifier en saison hivernale³³². Les horizons sommitaux du sol subissent alors une déstructuration et deviennent de ce fait très vulnérables: ils auront tendance à s'éroder lors des ruissellements superficiels qui ont régulièrement lieu sur la pente. À Sierre-Creux de Chippis, dans une position géomorphologique comparable à celle de Gamsen³³³, nous sommes parvenus à un constat similaire: la succession événementielle pédogenèse - incendie - érosion - accumulation sédimentaire est récurrente³³⁴. L'analyse micromorphologique ne permet aucune discrimination quant à la cause naturelle ou anthropique de ces incendies, en l'absence de toute trace tangible de présence humaine dans les couches antérieures à l'âge du Bronze. Il paraît tout à fait plausible que des feux naturels puissent se déclencher aux environs de Brig, localité se caractérisant par une sécheresse estivale. La notion de paléoclimat peut également intervenir en ce sens que les périodes d'instabilité climatique sont propices au déclenchement des incendies de forêt, comme le révèlent des études en écologie³³⁵. D'ailleurs, pour Berger, qui a mené des recherches interdisciplinaires en moyenne vallée du Rhône³³⁶, ce sont les oscillations climatiques qui sont les principales responsables des phases d'évolution

323 EB9001.

324 CDG9002 et TOR9004.

325 PED9005.

326 PED9008, PED9010 et PED9012.

327 En l'absence de toute donnée palynologique ou anthracologique, aucune précision d'ordre botanique ne peut être apportée concernant cette colonisation par la forêt.

328 RUS9007, TOR9024.

329 COL9023.

330 TOR9013, CB9015, etc.

331 INC9014, INC9016, t/w/126a.

332 TALON 1997.

333 Soit en pied de pente, à l'ubac, sur la rive gauche du Rhône.

334 GUÉLAT *et al.* 1998.

335 BRADSHAW 1993.

336 Valdaine, Tricastin et Plaine d'Orange.

des paysages à l'Holocène, les pratiques humaines n'agissant que comme processus amplificateurs de ces crises³³⁷.

Cependant, la récurrence des incendies dans cette partie de la séquence de Waldmatte pourrait constituer le signe d'un premier impact humain sur le paysage et ceci dès le Néolithique. Vu les nombreux gisements de cette période découverts en Valais³³⁸, il est en effet difficile de concevoir que la région de Gamsen ne subisse pas l'importance croissante de cette pression anthropique.

9.4.2.5 *Partie sommitale de la séquence*

Un épisode de pédogenèse³³⁹ s'insère entre 2000 et 700 av. J.-C. environ et marque en quelque sorte la transition entre la période précédente, assez active du point de vue de la dynamique sédimentaire et la suivante, que nous abordons maintenant.

La partie supérieure de la séquence, sous-jacente aux couches du Premier âge du Fer, se caractérise par un changement de faciès sédimentaire: des dépôts de pente de type pédosédiments³⁴⁰ s'intercalent entre des épisodes torrentiels³⁴¹. Ces formations colluviales sont entre autres générées par le remaniement de sols localisés en amont dans la pente. Plus précisément, ces colluvions sont alimentées surtout par reprise de leur horizon supérieur, de type humifère, en compagnie de dépôts post-incendie. Ceci implique une fragilisation de la partie superficielle des sols qui se mettent à transiter dans le versant. Corollaire de cette déstabilisation de la couverture pédologique, aucun sol brun (avec un horizon B d'altération) n'apparaîtra désormais dans la séquence de Waldmatte, et ceci jusqu'à son sommet.

Opérant dans une phase peu active quant à la dynamique sédimentaire, ce déséquilibre ne peut cette fois-ci être attribué uniquement à des facteurs climatiques: il résulte de la colonisation du site par l'homme. Chronologiquement en effet, les premiers indices de l'occupation humaine, établis dans le secteur de Bildacker, remontent à l'âge du Bronze moyen daté de 1400-1100 av. J.-C.³⁴²: dès cette époque, l'impact des activités humaines, sous forme par exemple d'une ouverture progressive du paysage, a pu s'étendre sur le coteau adjacent de Waldmatte.

9.5 CONCLUSIONS

Les résultats de cette étude proviennent de trois domaines sédimentaires qui possèdent chacun leur dynamique propre. Par conséquent, il s'avère très délicat d'établir une corrélation stricte entre les phases de pédogenèse observées dans ces différents secteurs. Les principaux obstacles résident d'une part dans l'absence de relations stratigraphiques entre les trois zones, qu'elles fassent effectivement défaut ou n'aient pas été observées, et d'autre part dans le manque de datations ¹⁴C, celles de Waldmatte-est mises à part. Ces dernières permettent toutefois d'esquisser les principales phases de stabilité qui se sont déroulées dans la partie centrale du site de Gamsen, entre environ 6000 et 700 av. J.-C.

Des incertitudes bien plus importantes subsistent dans l'insertion chronologique des sols fossiles de Waldmatte-ouest, car l'étude palynologique de cette séquence, inachevée, ne permet qu'une datation ponctuelle des dépôts. Comme aucune date absolue ne fixe la succession des deux sols, nous nous contenterons d'évoquer plus loin les résultats préliminaires de cette étude. Les résultats obtenus à Bildacker permettent de situer la phase de pédogenèse observée comme antérieure à la fin de l'âge du Bronze.

337 BERGER 1997.

338 BAUDAIS *et al.* 1990.

339 PED9019.

340 COL9020, COL9022.

341 TOR9021, TOR9025.

342 BENKERT *et al.* 2014.

Concernant l'estimation de la durée des phases de pédogenèse, on note que la fin de ces périodes de stabilité est assez aisée à fixer: les sols fossiles sont en effet tronqués au sommet par une érosion, elle-même suivie d'un enfouissement sous de nouveaux apports sédimentaires. En revanche, leur début pose problème: comme le relève Gobat, la fixation du point de départ de l'évolution d'un sol est en effet arbitraire et entièrement déterminée par le processus choisi comme «initialisant»³⁴³. Dans le cas présent, les datations ¹⁴C de charbons de bois se rapportent plutôt à la mise en place des dépôts sur lesquels les sols se sont par la suite développés. Autrement dit, cet âge correspond au tout début de la phase de pédogenèse. Ainsi, les deux premières datations de Waldmatte permettent de situer le substrat du sol 4 de BW-est³⁴⁴ vers la fin du VII^e millénaire avant notre ère. Au moins quatre sols bruns se développent successivement entre cette date initiale et le VI^e s. av. J.-C., soit dans un intervalle de temps d'environ 5300 ans (sol 1 à sol 4 de BW-est)³⁴⁵.

Par confrontation entre la succession des événements pédosédimentaires et les datations disponibles, nous avons tenté de chiffrer la durée moyenne des phases de pédogenèse à Waldmatte. Dans un précédent travail, nous avons déjà essayé d'estimer cet intervalle³⁴⁶. Après révision complète de la question et à la lumière de la présente étude, nous pouvons apporter quelques précisions.

En considérant les sols 4 à 2 de BW-est³⁴⁷ qui se sont formés dans un laps de temps d'environ 3000 ans d'après les datations radiocarbone, on arrive en effet à un ordre de grandeur sans doute inférieur au millénaire, sachant que d'autres événements sédimentaires se produisent dans l'intervalle. Dans la partie supérieure de la séquence, le sol 1 de BW-est³⁴⁸ se développe sur des colluvions riches en charbons de bois³⁴⁹. Ce sol brun se forme avant le Premier âge du Fer. Il est par ailleurs postérieur à la date de 2456-2042 BC cal. obtenue sur une souche carbonisée immédiatement sous-jacente. Ces données nous conduisent à chiffrer l'intervalle de temps entre 1300 et 1800 ans, au cours duquel s'est constitué le sol 1. D'autres événements dont la durée est difficile à estimer se produisent dans l'intervalle³⁵⁰. On peut donc admettre que la durée de cette dernière pédogenèse est de l'ordre du millénaire. En revanche, dans le cas des sols très rubéfiés de Waldmatte-ouest, deux pédogenèses ont eu lieu dans un intervalle d'au moins 6000 ans environ. On voit ainsi que le millénaire est un laps de temps raisonnable pour la formation de ce type de sol brun. Les quelques approximations que l'on trouve dans la littérature sont nettement supérieures à cette valeur. Birkeland estime le temps nécessaire à la genèse d'un horizon d'altération entre 5000 et 7000 ans, mais ce dernier peut apparaître après cinq siècles déjà³⁵¹. Dans la séquence de Gossau (SG) se trouve un brunisol dont le développement a duré 5000 ans au maximum³⁵². On retrouve ce même chiffre chez Gobat, mais considéré comme minimal cette fois pour la formation d'un horizon B d'altération³⁵³.

En résumé, l'intérêt majeur des séquences de Gamsen réside dans l'identification de plusieurs sols bruns un peu particuliers et surtout bien conservés. Chronologiquement bien insérées, ces pédogenèses traduisent, au niveau de l'évolution du paysage, des phases de stabilité. L'estimation chiffrée de leur durée constitue à notre connaissance un résultat inédit pour le domaine alpin centre-européen³⁵⁴.

343 GObat *et al.* 1998.

344 PED9008.

345 PED9019, PED9012, PED9010 et PED9008.

346 GUÉLAT *et al.* 1998.

347 PED9008, PED9010, PED9012.

348 PED9019.

349 COL9018.

350 TOR9025 et TOR9021 ainsi que COL9020 et COL9022.

351 BIRKELAND 1984.

352 SCHLÜCHTER *et al.* 1987.

353 GObat *et al.* 1998.

354 Les auteurs tiennent à remercier le bureau ARIA, à Sion, qui a dirigé l'étude des sites protohistoriques de Brig-Glis/Gamsen. Nous adressons un merci tout particulier à Claire Epiney-Nicoud et Alain Benkert pour le constant intérêt manifesté à l'égard de notre travail, mais aussi pour la relecture du texte et sa mise en forme définitive. Nous exprimons toute notre gratitude à Bernard Moulin pour les données mises à notre disposition, ainsi que pour les suggestions et échanges d'idées tout au long de cette étude.

BIBLIOGRAPHIE

- AARTOLAHTI 1987 Toive AARTOLAHTI, «Contorted structures in quaternary glaciofluvial deposits in southern Finland», *Annales Academiae Scientiarum Fennicae. Serie A. III. Geologica-Geographica* 143, 1987, pp. 1-51.
- ABER *et al.* 1989 James S. ABER, David G. CROOT et Mark M. FENTON, *Glaciotectonic landforms and structures*, Glaciology and Quaternary Geology 5, Dordrecht/Boston/London 1989.
- AG BODENKUNDE 1982 AG BODENKUNDE, *Bodenkuntliche Kartieranleitung*, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe und Geologische Landesämter, Hannover 1982.
- AMELOT *et al.* 2003 François AMELOT, Jean-Jacques DELANNOY et Gérard NICOU, «L'édification des cônes de déjection en zone de montagne: intérêts paléoenvironnemental et hydrogéologique, contribution typologique», *Quaternaire* 14, 2003, pp. 253-263.
- AMOROS et PETTS 1993 Claude AMOROS et Geoffrey E. PETTS, *Hydrosystèmes fluviaux*, Collection d'écologie 24, Paris 1993.
- ANCEY 1997 Christophe ANCEY, *Rhéologie des écoulements granulaires en cisaillement simple. Application aux laves torrentielles granulaires*, Thèse de doctorat, Ecole Centrale, Paris 1997.
- ANCEY 1999 Christophe ANCEY, *Rhéologie des laves torrentielles*, Irstea/Cemagref, CemOA publications, 1999.
- ANCEY 2001 Christophe ANCEY, «Debris flows and related phenomena», *Lecture Notes in Physics* 582, 2001, pp. 528-547.
- ANKETELL et DZULYNSKI 1968 a J. M. ANKETELL et Stanislaw DZULYNSKI, «Patterns of density controlled convolutions involving statistically homogeneous and heterogeneous layers», *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Annales de la Société géologique de Pologne* 38, 1968, pp. 401-409.
- ANKETELL et DZULYNSKI 1968 b J. M. ANKETELL et Stanislaw DZULYNSKI, «Transverse deformational pattern in unstable sediments», *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Annales de la Société géologique de Pologne* 38, 1968, pp. 411-416.
- ANKETELL *et al.* 1970 J. M. ANKETELL, Jerzy CEGLA et Stanislaw DZULYNSKI, «On the deformational structures in systems with reversed density gradients», *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Annales de la Société géologique de Pologne* 40, 1970, pp. 2-29.
- ANTOINE 2011 Jean-Marc ANTOINE, «Vulnérabilité et adaptation des sociétés montagnardes à la torrentialité au cours du Petit Age Glaciaire dans les Pyrénées», *Sud-Ouest Européen* 32, 2011, pp. 53-66.
- ASHLEY 1988 Gail M. ASHLEY, «Classification of glaciolacustrine sediments», *in*: Richard P. GOLDTHWAIT et Charles L. MATSCH, *Genetic classification of glacial deposits*, Rotterdam 1988, pp. 243-260.
- AUBERT 1980 Denis AUBERT, «Les stades de retrait des glaciers du Haut-Valais», *Bulletin de la Murithienne* 97, 1980, pp. 101-169.
- BAIZE 2000 Denis BAIZE, *Guide des analyses en pédologie*, Paris 2000.
- BALEK 2002 Cynthia L. BALEK, «Buried artifacts in stable upland sites and the role of bioturbation: a review», *Geoarchaeology* 17, 2002, pp. 41-51.
- BALLANDRAS 1998 Stéphane BALLANDRAS, «Le "Remblaiement Historique" dans les bassins versants torrentiels des Alpes françaises / The "historical filling-up" in torrential catchments of French Alps», *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 4/1, 1998, pp. 65-77.

- BALLANDRAS 2002 Stéphane BALLANDRAS, «L'évolution des formes de relief et des formations torrentielles alpines depuis 4700 ans», *Quaternaire* 13, 2002, pp. 267-277.
- BARDOU 2002 Eric BARDOU, *Méthodologie de diagnostic des laves torrentielles sur un bassin versant alpin*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2002.
- BARONI et OROMBELLI 1996 Carlo BARONI et Giuseppe OROMBELLI, «The Alpine "Icemen" and Holocene Climatic Change», *Quaternary Research* 46, 1996, pp. 78-83.
- BAUDAIS *et al.* 1990 Dominique BAUDAIS, Philippe CURDY, Mireille DAVID-ELBIALI et Olivier MAY, «La néolithisation du Valais: modèles de peuplement et premier bilan de la Prospection Archéologique du Valais (Suisse)», *in*: Paolo BIAGI (ed), *The Neolithisation of the Alpine Region*. International Round Table (29 Apr.-1 May 1988; Brescia), Monografie di Natura Bresciana, 13, Brescia 1990, pp. 159-174.
- BAUMANN et KAISER 1999 Felix BAUMANN et Klaus Felix KAISER, «The Murtetta Debris Fan, Eastern Swiss Alps: A 500-Year Debris Flow Chronology», *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 31/2, 1999, pp. 128-134.
- BECZE-DEÁK *et al.* 1997 Judit BECZE-DEÁK, Roger LANGOHR et Eric P. VERRECCHIA, «Small scale CaCO₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms and potentials for paleoenvironmental reconstruction», *Geoderma* 76, 1997, pp. 221-252.
- BEECHING et BROCHIER 2003 Alain BEECHING et Jacques Léopold BROCHIER, «Espace et temps de la préhistoire: biaisage et problèmes de représentation», *in*: Jean GASCÓ, Xavier GUTHERZ et Pierre-Arnaud DE LABRIFFE (éds), *Temps et espaces culturels, du 6^{ème} au 2^{ème} millénaire en France du Sud*. Actes des Quatrièmes Rencontres méridionales de Préhistoire récente, Nîmes, 28 et 29 octobre 2000, Monographies d'archéologie méditerranéenne 15, 2003, pp. 21-33.
- BENISTON 2007 Martin BENISTON, «Linking extreme climate events and economic impacts: Examples from the Swiss Alps», *Energy Policy* 35, 2007, pp. 5384-5392.
- BENKERT *et al.* 2003 Alain BENKERT, Claire EPINEY-NICOUD, Vincent DAYER, Anne-Lyse GENTIZON, Marc HALLER, Séverine MARCHI et Carine WAGNER, «La séquence chronostratigraphique de Brig-Glis/Gamsen, Waldmatte (Valais, CH)», *in*: Marie BESSE, Laurence-Isaline STAHL GRETSCH et Philippe CURDY, *ConstellaSion. Hommage à Alain Gallay*, Cahiers d'archéologie romande 95, Lausanne 2003, pp. 291-306.
- BENKERT *et al.* 2004 Alain BENKERT, Claire EPINEY-NICOUD, Vincent DAYER, Anne-Lyse GENTIZON, Marc HALLER, Séverine MARCHI et Carine WAGNER, *Fouilles archéologiques Ag. Brig-Glis/Gamsen 2. L'habitat protohistorique de Waldmatte. Volume 1 - Contexte chronostratigraphique et structures de l'habitat*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2004 (rapport scientifique non publié 2004/02-1).
- BENKERT *et al.* 2014 Alain BENKERT, Claire EPINEY-NICOUD, Jean-Christophe MORET et Olivier PACCOLAT, *L'habitat alpin de Gamsen (Valais, Suisse). 1. Cadre des recherches archéologiques et chronologie des occupations*, Cahiers d'archéologie romande 153, *Archaeologia Vallesiana* 11, Lausanne 2014.
- BENKERT et EPINEY-NICOUD 2005 Alain BENKERT et Claire EPINEY-NICOUD (dir.) *Fouilles archéologiques Ag. Brig-Glis/Gamsen 4. Analyses spécialisées. Micromorphologie, paléobotanique et dendrochronologie*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2005 (rapport scientifique non publié 2005/01).
- BERGER 1995 Jean-François BERGER, «Facteurs anthropiques et naturels de l'évolution des paysages romains et protomédiévaux du bassin valdainais (Drôme)», *in*: Sander VAN DER LEEUW (éd.), *L'homme et la dégradation de l'environnement*. Actes des XV^e rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes, 20-22 octobre 1994, Juans-les-Pins 1995, pp. 79-114.
- BERGER 1997 Jean-François BERGER, «Cycles anthropiques et environnementaux à l'Holocène dans les bassins-versants rhodaniens de rang inférieur (Valdaine, Tricastin, Drôme)», *in*: *Les temps de l'environnement*, Communications des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés PIREVS, Toulouse, Centre des Congrès, 5-6-7 novembre 1997, sessions 3, 4 et 5, Toulouse 1997, pp. 243-253.
- BERGER 2003a Jean-François BERGER, «Les facteurs d'érosion: méthodes d'analyse et conceptualisation des processus», *in*: Sander VAN DER LEEUW, François FAVORY et Jean-Luc FICHES (dir.), *Archéologie et systèmes socio-environnementaux. Etudes multiscalaires sur la vallée du Rhône dans le programme ARCHAEOMEDES*, CRA-Monographies 27, Paris 2003, pp. 45-85.
- BERGER 2003b Jean-François BERGER, «Les étapes de la morphogénèse holocène dans le Sud de la France», *in*: Sander VAN DER LEEUW, François FAVORY et Jean-Luc FICHES (dir.), *Archéologie et systèmes socio-environnementaux. Etudes multiscalaires sur la vallée du Rhône dans le programme ARCHAEOMEDES*, CRA-Monographies 27, Paris 2003, pp. 87-167.

- BERGER et BROCHIER 2000 Jean-François BERGER et Jacques Léopold BROCHIER, «Évolution des paysages et des climats dans la moyenne vallée du Rhône et sa bordure préalpine de 13 000 à 5 000 BP», in: André THÉVENIN, Christophe CUPILLARD et Annick RICHARD (éds), *Les derniers chasseurs-cueilleurs d'Europe occidentale (13 000 - 5 500 av. J.-C.)*. Actes du colloque international de Besançon, 23-25 octobre 1998, Annales littéraires de l'Université de Besançon 699, série «Environnement, Société et Archéologie» 1, Besançon 2000, pp. 37-57.
- BERGER *et al.* 1997 Jean-François BERGER, Thierry ODIOT, Alain BEECHING, Jacques Léopold BROCHIER, Gérard CHOUQUER, Frédéric MAGNIN et Stéphanie THIÉBAULT, «Géoarchéologie du bassin valdainais (Drôme)», in: BRAVARD et PRESTEAU 1997, pp. 103-128.
- BERGER *et al.* 2002 Jean-François BERGER, Claire DELHON, Sandrine BONTÉ, Stéphanie THIÉBAULT, Dominique PEYRIC, Alain BEECHING et Joël VITAL, «Paléodynamique fluviale, climat, action humaine et évolution des paysages du bassin versant de la Citelle (moyenne vallée du Rhône, Drôme) au cours de l'Atlantique ancien (8 000-6 000 BP) à partir de la séquence alluviale d'Espeluche-Lalo», in: Jean-Paul BRAVARD et Michel MAGNY, *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Paris 2002, pp. 223-238.
- BERGER *et al.* 2007 Jean-François BERGER, Jacques Léopold BROCHIER, Joël VITAL, Claire DELHON et Stéphanie THIÉBAULT, «Nouveau regard sur la dynamique des paysages et l'occupation humaine à l'Âge du Bronze en moyenne vallée du Rhône», in: Hervé RICHARD, Michel MAGNY et Claude MORDANT (éds), *Environnements et cultures à l'Âge du Bronze en Europe occidentale*. Actes du 129^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Besançon, 2004, Documents préhistoriques 21, Paris 2007, pp. 259-283.
- BERTRAN 1996 Pascal BERTRAN, «Sédimentologie d'une avalanche rocheuse survenue en février 1995 à Claix (Alpes Françaises)», *Quaternaire* 7, 1996, pp. 75-83.
- BERTRAN 2004 Pascal BERTRAN, «Cônes de déjection», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 217-232.
- BERTRAN et COUSSOT 2004 Pascal BERTRAN et Philippe COUSSOT, «Coulées de débris», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 132-151.
- BERTRAN et COUTARD 2004 Pascal BERTRAN et Jean-Paul COUTARD, «Solifluxion», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 84-109.
- BERTRAN et TEXIER 1997 Pascal BERTRAN et Jean-Pierre TEXIER, «Géoarchéologie des versants. Les dépôts de pente», in: Jean-Paul BRAVARD et Michel PRESTEAU (coord.), *Dynamique du paysage. Entretiens de Géoarchéologie. Table ronde tenue à Lyon les 17 et 18 novembre 1995*, Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne (DARA n° 15), Lyon 1997, pp. 59-86.
- BERTRAN et TEXIER 2004 Pascal BERTRAN et Jean-Pierre TEXIER, «Caractérisation des dépôts», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 7-18.
- BERTRAN *et al.* 1998 Pascal BERTRAN, Laurent FABRE, Odile FRANC, Nicole LIMONDIN-LOUZOUET et Stéphanie THIÉBAULT, «Évolution d'un versant au cours de l'Holocène à Vaise (France)», *Géographie physique et Quaternaire* 52, 1998.
- BERTRAN *et al.* 2004a Pascal BERTRAN, Bernard FRANCOU et Jean-Pierre TEXIER, «Eboulisation, éboulements», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 29-43.
- BERTRAN *et al.* 2004b Pascal BERTRAN, Yves LE BISSONNAIS et Jean-Paul TEXIER, «Ruissellement», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 176-191.
- BERTRAN *et al.* 2004c Pascal BERTRAN, Maurice MEUNIER et Jean-Pierre TEXIER, «Éléments de rhéologie, de mécanique des sols et d'hydraulique», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 18-23.
- BERTRAND et BERTRAND 1997 Claude BERTRAND et Georges BERTRAND, «Le géosystème: un espace-temps anthropisé. Esquisse d'une temporalité environnementale», in: *Les temps de l'environnement*, Communications des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés PIREVS, Toulouse, Centre des Congrès, 5-6-7 novembre 1997, sessions 3, 4 et 5, Toulouse 1997, pp. 27-34.
- BERTRAND 2002 Georges BERTRAND, «La discordance des temps», in: Hervé RICHARD et Anne VIGNOT, *Équilibres et ruptures dans les écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest*. Actes du colloque international de Besançon, 18-22 septembre 2000, Annales littéraires de l'Université de Besançon 730, série «Environnement, Société et Archéologie» 3, Besançon 2002, pp. 15-23.

- BESSON *et al.* 1991 Olivier BESSON, Jean-Daniel ROUILLER, Walter FREI et Henri MASSON, «Campagne de sismique réflexion dans la vallée du Rhône (entre Sion et Martigny, Suisse)», *Bulletin de la Murithienne* 109, 1991, pp. 45-63.
- BEZAT 1992 Evelyne BEZAT, *Rapport d'une étude préliminaire sur le profil BWX/sondage 15. N9 Gamsen/Waldmatte*, Rapport d'étude inédit, Sion 1992, pp. 1-2.
- BEZAT 2005 Evelyne BEZAT, «A9 Brig-Glis/Waldmatte. Analyse palynologique. Etat actuel et perspectives», in: Alain BENKERT et Claire EPINEY-NICOUD (éds), *Brig-Glis/Gamsen 4. Analyses spécialisées. Micromorphologie, paléobotanique et dendrochronologie*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2005 (Rapport scientifique, 2005/01).
- BIRCHER 1982 Walter BIRCHER, *Zur Gletscher- und Klimageschichte des Saastales. Glazialmorphologische und dendroklimatologische Untersuchungen*, Thèse de doctorat, Geographisches Institut, Physische Geographie 9, Zürich 1982.
- BIRKELAND 1984 Peter W. BIRKELAND, *Soils and geomorphology*, New York/Oxford 1984.
- BIROT 1981 Pierre BIROT, *Les processus d'érosion à la surface des continents*, Paris 1981.
- BLANK et FOSBERG 1990 Robert R. BLANK et Maynard A. FOSBERG, «Micromorphology and classification of secondary calcium carbonate accumulations that surround or occur on the underside of coarse fragments in Idaho (USA)», in: Lowell A. DOUGLAS (éd.), *Soil micromorphology: a basic and applied science. Proceedings of the 8. International Working Meeting of Soil Micromorphology, San Antonio, Texas, July 1988*, Developments in Soil Science 19, Amsterdam 1990, pp. 341-346.
- BLATT *et al.* 1980 Harvey BLATT, Gerard V. MIDDLETON et Raymond MURRAY, *Origin of sedimentary rocks*, New Jersey 1980.
- BOLLSCHWEILER 2007 Michelle BOLLSCHWEILER, *Spatial and temporal occurrence of past debris flows in the Valais Alps - results from tree-ring analysis*, *GeoFocus* 20, Fribourg 2007.
- BOLLSCHWEILER et STOFFEL 2007 Michelle BOLLSCHWEILER et Markus STOFFEL, «Debris flows on forested cones - reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland», *Natural Hazards and Earth System Sciences* 7, 2007, pp. 207-218.
- BOLLSCHWEILER *et al.* 2007 Michelle BOLLSCHWEILER, Markus STOFFEL, Melanie EHMISCH et Michel MONBARON, «Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods», *Geomorphology* 87, 2007, pp. 337-351.
- BOLLSCHWEILER *et al.* 2008 Michelle BOLLSCHWEILER, Markus STOFFEL et Dominique SCHNEUWLY, «Dynamics in debris-flow activity on a forested cone - A case study using dendroecological approaches», *Catena* 72, 2008, pp. 67-78.
- BRADSHAW 1993 Richard BRADSHAW, «Forest response to Holocene climatic change: equilibrium or non-equilibrium», in: Franck M. CHAMBERS, *Climate change and human impact on the landscape: studies in palaeoecology and environmental archaeology*, Londres 1993, pp. 57-65.
- BRAVARD 1997 Jean-Paul BRAVARD, «Géoarchéologie des vallées alluviales de Rhône-Alpes depuis le Tardiglaciaire», in: BRAVARD et PRESTEAU 1997, pp. 129-150.
- BRAVARD et PRESTEAU 1997 Jean-Paul BRAVARD et Michel PRESTEAU (coord.), *Dynamique du paysage. Entretiens de géoarchéologie. Table ronde tenue à Lyon les 17 et 18 novembre 1995*, Documents d'Archéologie en Rhône-Alpes et en Auvergne (DARA n° 15), Lyon 1997.
- BRAVARD *et al.* 1992 Jean-Paul BRAVARD, Agnès VEROT-BOURRELY et Pierre-Gil SALVADOR, «Le climat d'après les informations fournies par les enregistrements sédimentaires fluviaux étudiés sur des sites archéologiques», *Les Nouvelles de l'Archéologie* 50, 1992, pp. 7-13.
- BRAVARD *et al.* 2002 Jean-Paul BRAVARD, Jean-Luc PEIRY et Pierre-Gil SALVADOR, «La diversité spatiale des enregistrements morphosédimentaires tardiglaciaires et holocènes dans quelques vallées du piémont des Alpes du Nord englacées au Würm (Arves, Haut-Rhône, Isère)», in: Jean-Paul BRAVARD et Michel MAGNY, *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Paris 2002, pp. 205-213.
- BRESSON 1976 Louis-Marie BRESSON, «Rubéfaction récente des sols sous climat tempéré humide. Séquence évolutive sur fluvioglaciaire calcaire dans le Jura méridional (Etude de microscopie intégrée)», *Science du Sol* 1, 1976, pp. 3-22.
- BROCHIER 1997 Jacques Léopold BROCHIER, «Contexte morphodynamique et habitat humain de la moyenne vallée du Rhône au cours de la Préhistoire récente», in: BRAVARD et PRESTEAU 1997, pp. 87-102.

- BROCHIER 1999 Jacques Léopold BROCHIER, «Taphonomie des sites: fossilisation et conservation de l'espace habité», in: Alain BEECHING et Joël VITAL (dir.), *Préhistoire de l'espace habité en France du Sud. Actualité de la recherche*. Actes des Premières Rencontres méridionales de Préhistoire récente, Valence, 3 et 4 juin 1994, Travaux du Centre d'Archéologie Préhistorique de Valence 1, Valence 1999, pp. 19-28.
- BROCHIER 2010 Jacques Léopold BROCHIER, «La baie d'Auvernier, lac de Neuchâtel: cadre chronostratigraphique, évolution paléolimnologique et habitats préhistoriques, d'après l'étude des séquences sédimentaires», in: Jacques Léopold BROCHIER (éd.), *Le lac de Neuchâtel et les hommes de la fin des temps glaciaires à nos jours, d'après les stratigraphies des sites archéologiques lacustres et littoraux du canton de Neuchâtel*, Archéologie neuchâteloise numérique 4, Neuchâtel 2010, pp. 32-148.
- BROCHIER et MOULIN 2010 Jacques Léopold BROCHIER et Bernard MOULIN, «Quinze sites retracent l'histoire du lac de Neuchâtel: synthèse stratigraphique de la rive nord-ouest du lac», in: BROCHIER 2010, pp. 267-316.
- BROCHIER et al. 1987 Jacques Léopold BROCHIER, Pierre CORBOUD, Renato PERINI et Christiane PUGIN, «Une démarche archéologique: essai de prospection systématique par carottages dans un site palustre, le lac de Fiaivè-Carera», *Archäologisches Korrespondenzblatt* 17, 1987, pp. 347-362.
- BROCHIER et al. 1992 Jacques Léopold BROCHIER, Pierre CORBOUD, Franco MARZATICO, Christiane PUGIN et Anne-Marie RACHOUD-SCHNEIDER, «Les habitats préhistoriques de l'ancien lac de Fiaivè-Carera (Trentin-Italie du Nord). Une stratégie d'étude globale sur un site de tourbière», in: *Archéologie et environnement des milieux aquatiques: lacs, fleuves et tourbières du domaine alpin et de sa périphérie*. Actes du 116^e Congrès National des Sociétés Savantes, Chambéry, 1991, Paris 1992, pp. 179-203.
- BRODZIKOWSKI et VAN LOON 1980 Krzysztof BRODZIKOWSKI et Antonius J. VAN LOON, «Sedimentary deformations in saalian glaciolimnic deposits near Wlostow (Zary area, Western Poland)», *Geology en Mijnbouw* 59, 1980, pp. 251-272.
- BRODZIKOWSKI et VAN LOON 1983 Krzysztof BRODZIKOWSKI et Antonius J. VAN LOON, «Sedimentology and deformational history of unconsolidated quaternary sediments of the Jaroszw zone (Sudetic Foreland)», *Geologia Sudetica* 18, 1983, pp. 123-187.
- BRODZIKOWSKI et VAN LOON 1985 Krzysztof BRODZIKOWSKI et Antonius J. VAN LOON, «Inventory of deformational structures as a tool for unravelling the Quaternary geology of glaciated areas», *Boreas* 14, 1985, pp. 175-188.
- BURGA et ROGER 1998 Conradin A. BURGA et Perret ROGER, *Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter*, Thun 1998.
- BURRI 1987 Marcel BURRI, *Les roches*, Connaître la nature en Valais 1, Martigny 1987.
- BURRI et al. 1993 Marcel BURRI, E. FRANK, Pascal JEANBOURQUIN, Toni LABHART, M. LIZSKAY et A. STRECKEISEN, Atlas géologique de la Suisse à 1:25 000. Feuille 1289 Brig (Atlasblatt 93), Berne 1993.
- BURRI et al. 1994 Marcel BURRI, Laurent JEMELIN et Pascal JEANBOURQUIN, Atlas géologique de la Suisse à 1:25 000. Feuille 1289 Brig (Atlasblatt 93). Erläuterungen, Berne 1994.
- BUSS et HEIM 1881 Ernst BUSS et Albert HEIM, *Der Bergsturz von Elm*, Zürich 1881.
- BUTZER 1982 Karl W. BUTZER, *Archaeology as human ecology: method and theory for a contextual approach*, Cambridge 1982.
- CAMPY et MACAIRE 1989 Michel CAMPY et Jean-Jacques MACAIRE, *Géologie des formations superficielles. Géodynamique - faciès - utilisation*, Paris 1989.
- CANTI 2003 Matthew G. CANTI, «Earthworm activity and archaeological stratigraphy: a review of products and processes», *Journal of Archaeological Science* 30, 2003, pp. 135-148.
- CHARDON 1991 Michel CHARDON, «Approche géomorphologique des karsts du gypse de la Vanoise: la zone alpine et glaciaire du vallon du Fruit-Gébroulaz (Alpes-France)», *Karstologia* 17, 1991, pp. 31-42.
- CHARDON 1996 Michel CHARDON, «La mesure de l'érosion dans le gypse/anhydrite des Alpes françaises du Nord. Méthodes et état des connaissances», *Revue de Géographie alpine* 84, 1996, pp. 45-56.
- COLLECTIF 1999 COLLECTIF, *Les bisces du Valais*, Editions Monographic, Sierre 1999.
- COLLINSON et THOMPSON 1982 John D. COLLINSON et David B. THOMPSON, *Sedimentary structures*, London 1982.
- COSTA 1988 John E. COSTA, «Rheologic, geomorphic, and sedimentologic differentiation of water floods, hyperconcentrated flows, and debris flows», in: Victor R. BAKER, R. Craig KOCHER et Peter C. PATTON, *Flood geomorphology*, New York 1988, pp. 113-122.
- COURTY et al. 1989 Marie-Agnès COURTY, Paul GOLDBERG et Richard MACPHAIL, *Soils and micromorphology in archaeology*, Cambridge 1989.

- COURTY *et al.* 1994 Marie-Agnès COURTY, Paul GOLDBERG et Richard MACPHAIL, «Ancient People-Lifestyles and Cultural Patterns», in: Jorge D. ETCHEVERS, *Transactions 15th World Congress of Soil Science*, International Society of Soil Science, Mexico/Acapulco 1994, pp. 250-269.
- COUSSOT 1996 Philippe COUSSOT, *Les laves torrentielles: connaissances à l'usage du praticien*, Etudes-Cemagref, Saint-Martin-d'Hères 1996.
- COUSSOT 1997 a Philippe COUSSOT, *Mudflow rheology and dynamics*, IAHR monograph, Rotterdam 1997.
- COUSSOT 1997 b Philippe COUSSOT, «Les coulées de boue», *Pour la Science* 240, 1997, pp. 62-67.
- COUTTERAND 2010 Sylvain COUTTERAND, *Etude géomorphologique des flux glaciaires dans les Alpes nord-occidentales au Pléistocène récent. Du maximum de la dernière glaciation aux premières étapes de la déglaciation*, Thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry 2010.
- CREALP 2001 CREALP, *Les laves torrentielles en Valais*, 2001.
- CREMONINI *et al.* 2010 Stefano CREMONINI, Jo Hilaire Agnes DE WAELE, Paolo FORTI, Laura SANNA et Bartolomeo VIGNA, «May subcutaneous evaporites enhance the risk of suffusion dolines? Examples from Emilia Romagna, Piedmont, Apulia (Italia), Cardona (Spain) and Siberia (Russia)», in: *I Sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato*, Atti del 2° Workshop Internazionale, ISPRA, Roma, 3-4 Dicembre 2009, Roma 2010.
- CURDY 2004 Philippe CURDY, *Brig-Glis/Gamsen 3. L'habitat protohistorique de Waldmatte. Volume 1 - Etude préliminaire du mobilier et datation des phases d'occupation*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2004 (Rapport scientifique, 2004/03-1).
- CURDY *et al.* 1993 Philippe CURDY, Manuel MOTTET, Claire NICLOUD, Dominique BAUDAIS, Karen LUNDSTRÖM-BAUDAIS et Bernard MOULIN, «Brig-Glis/Waldmatte, un habitat alpin de l'âge du Fer. Fouilles archéologiques N9 en Valais», *Archéologie suisse* 16, 1993, pp. 138-151.
- CURDY *et al.* 2010 Philippe CURDY, Jérôme BULLINGER, Pierre CROTTI, Veruchka VALSECCHI et Willy TINNER, «Recherches archéologiques dans les régions du Simplon et de l'Albrun (Valais et Piémont), du Mésolithique à l'époque romaine», in: Stéfan TZORTZIS et Xavier DELESTRE (éds), *Archéologie de la montagne européenne*. Actes de la table ronde internationale de Gap, 29 septembre-1^{er} octobre 2008, Bibliothèque d'Archéologie Méditerranéenne et Africaine 4, Paris/Aix-en-Provence 2010, pp. 185-195.
- DAPPLES 2002 Florence DAPPLES, *Instabilités de terrain dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène: influence des changements climatiques, des fluctuations de la végétation et de l'activité humaine*, GeoFocus 6, Fribourg 2002.
- DAVENPORT et RINGROSE 1987 Colin A. DAVENPORT et Philip S. RINGROSE, «Deformation of Scottish Quaternary sediment sequences by strong earthquake motions», in: Mervyn E. JONES et R. M. F. PRESTON (éds), *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*, Geological Society Special Publications 29, London 1987, pp. 299-314.
- DEER *et al.* 1992 William A. DEER, Robert A. HOWIE et Jack ZUSSMAN, *An introduction to the rock-forming minerals*, Harlow/New-York 1992.
- DELANNOY 1996 Jean-Jacques DELANNOY, «L'érosion dans les Alpes occidentales: contribution à un bilan des mesures et des méthodes», *Revue de Géographie alpine* 84, 1996, pp. 87-100.
- DEMANGEOT 1979 Jean DEMANGEOT, «Géographie séismologique des Alpes occidentales», *Revue de Géographie Alpine* 67, 1979, pp. 153-159.
- DIONNE 1971 Jean-Claude DIONNE, «Contorted structures in unconsolidated quaternary deposits, Lake Saint-Jean and Saguenay Regions, Quebec», *La Revue de Géographie de Montréal* 25, 1971, pp. 5-33.
- DJINDJIAN 1991 François DJINDJIAN, *Méthodes pour l'Archéologie*, Paris 1991.
- DUCHAUFOUR 1977 Philippe DUCHAUFOUR, *Pédologie. Tome 1: Pédogenèse et classification*, Paris 1977.
- DZULYNSKI 1963 Stanislaw DZULYNSKI, «Directional structures in flysch», *Studia Geologica Polonica* 12, 1963, pp. 1-136.
- DZULYNSKI et WALTON 1963 Stanislaw DZULYNSKI et E. K. WALTON, «Experimental production of sole markings», *Transactions of the Edinburgh Geological Society* 19, 1963, pp. 279-305.
- DZULYNSKI et WALTON 1965 Stanislaw DZULYNSKI et E. K. WALTON, «Sedimentary features of flysch and greywackes», *Developments in Sedimentology* 7, Amsterdam/London/New York 1965.
- ERHART 1967 Henri ERHART, *La genèse des sols en tant que phénomène géologique: esquisse d'une théorie géologique et géochimique, biostase et rhexistase*, Evolution des sciences 8, Paris 1967.

- EYLES *et al.* 1983 Nicholas EYLES, Carolyn H. EYLES et Andrew D. MIALL, «Lithofacies types and vertical profil models; an alternative approach to the description and environmental interpretation of glacial diamict and diamictite sequences», *Sedimentology* 30, 1983, pp. 393-410.
- FARQUET 1925 Philippe FARQUET, «Les marais et les dunes de la région de Martigny», *Bulletin de la Murithienne* 42, 1925, pp. 113-149.
- FIERZ-DAYER et MOULIN 2006 Elisabeth FIERZ-DAYER et Bernard MOULIN, *Lac Supérieur de Fully. Etude sédimentologique*. Rapport préliminaire, Musée d'Histoire naturelle, Sion 2006.
- FLEZ et LAHOUSSE 2004 Christophe FLEZ et Philippe LAHOUSSE, «Example of Holocene alpine torrent response to environmental changes: contribution to assessment of forcing factors», *Quaternaire* 15, 2004, pp. 167-176.
- FLINT *et al.* 1960 Richard F. FLINT, J. E. SANDERS, J. RODGERS, «Diamictite, a substitute term for symmictite», *Geological Society of America Bulletin* 71, 12, 1960.
- FOLK 1954 Robert L. FOLK, «The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature», *Journal of Geology* 62, 1954, pp. 344-359.
- FOLK 1968 Robert L. Folk, *Petrology of sedimentary rocks*, Austin 1968.
- FORT *et al.* 2009 Monique FORT, Etienne COSSART, Philip DELINE, Marc DZIKOWSKI, Gérard NICOD, Ludovic RAVANEL, Philippe SCHOENEICH et Patrick WASSMER, «Geomorphie impact of large and rapid mass movements: a review. Impacts géomorphologiques des mouvements de masse volumineux et rapide : une revue», *Géomorphologie: relief, processus, environnement* [En ligne], 1/2009, mis en ligne le 1^{er} avril 2011, consulté le 13 octobre 2012. URL: <http://geomorphologie.revues.org/7495>; OI : 10.4000/geomorphologie.7495
- FRANCOU 1988 Bernard FRANCOU, *L'éboulement en haute montagne. Andes et Alpes. Six contributions à l'étude du système corniche-éboulis en milieu périglaciaire*, Thèse de doctorat, Université de Paris VII et Centre de Géomorphologie du CNRS, Paris 1988.
- FURRER *et al.* 1987 Gerhard FURRER, Conradin BURGA, Hanspeter HOLZHAUSER et Max MAISCH, «Zur Gletscher-, Vegetations- und Klimageschichte der Schweiz seit der Späteiszeit», *Geographica Helvetica* 42/2, 1987, pp. 61-91.
- GALLOWAY et HOBDAV 1983 William E. GALLOWAY et David K. HOBDAV, *Terrigenous clastic depositional systems*, New York/Berlin/Heidelberg/Tokyo 1983.
- GAMPER 1985 Martin GAMPER, *Morphochronologische Untersuchungen an Solifluktioniszungen, Moränen und Schwemmkegeln in den Schweizer Alpen: eine Gliederung mit Hilfe der 14C-Altersbestimmung fossiler Böden*, Physische Geographie 17, Zürich 1985.
- GAMS 1916 Helmut GAMS, «La grande gouille de la Sarvaz et ses environs», *Bulletin de la Murithienne* 39, 1916, pp. 125-191.
- GARITTE 2006 Gilles GARITTE, «Les relations entre torrents et sociétés. L'exemple de la vallée de la Clarée (Hautes-Alpes, France)», in: *Interactions Nature-Société, analyse et modèles*. Actes du Colloque International, La Baule, 3-6 mai 2006, Nantes 2006, pp. 1-5.
- GARITTE *et al.* 2007 Gilles GARITTE, Philippe LAHOUSSE, Lucas THÉNARD et Pierre-Gil SALVADOR, «Evolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud)», *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 4, 2007.
- GAUCHER 2011 Grégory GAUCHER, *Evolution de l'occupation du sol et de l'environnement fluvial en haute vallée du Rhône (Ain, Isère), du Néolithique à l'époque moderne. Volume I: Texte de synthèse. Volume II: Annexes et catalogues*, Thèse de doctorat, Université de Nice Sophia-Antipolis, 2011.
- GEX 1924 François GEX, «La lave de Pontamafrey (Maurienne), juillet 1924», *Revue de Géographie alpine* 12, 1924, pp. 469-478.
- GIARDINI 2006 Domenico GIARDINI, «L'aléa sismique dans l'arc alpin», Actes du symposium PRINAT «La prise en compte du risque sismique dans l'arc alpin», Martigny, 3 octobre 2006, Projet n° 098 «PRINAT-Création du Pôle des risques naturels en montagne de la COTRAO», 2006, pp. 4-10.
- GIGUET-COVEX 2010 Charline GIGUET-COVEX, *Contribution des sédiments laminés lacustres à l'étude des changements environnementaux Holocène. Approche couplée sédimentologique/géochimique à haute résolution. Application à deux lacs nord-alpins*, Thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry 2010.
- GIGUET-COVEX *et al.* 2011 Charline GIGUET-COVEX, Fabien ARNAUD, Jérôme POULENARD, Jean-Robert DISNAR, Claire DELHON, Pierre FRANCUS, Fernand DAVID, Dirk ENTERS, Pierre-Jérôme REY et Jean-Jacques DELANNOY, «Changes in erosion patterns during the Holocene in a currently treeless subalpine catchment inferred from lake sediment geochemistry (Lake Anterne, 2063 m asl, NW French Alps): the role of climate and human activities», *The Holocene* 21, 2011, pp. 651-665.

- GOBAT *et al.* 1998 Jean-Michel GOBAT, Michel ARAGNO et Willy MATTHEY, *Le sol vivant: bases de pédologie, biologie des sols*, Collection Gérer l'environnement 14, Lausanne 1998.
- GUÉLAT 2008 Michel GUÉLAT, «Reconstitution du paysage et paléohydrologie. Approche stratigraphique et sédimentologique», in: Michel GUÉLAT, Christoph BROMBACHER, Claude OLIVE et Lucia WICK, *Develier-Courtételle: un habitat rural mérovingien. 4. Environnement et exploitation du terroir au début du Moyen Âge*, Cahiers d'archéologie jurassienne 16, Porrentruy 2008, pp.17-71.
- GUÉLAT 2009 Michel GUÉLAT, «Evolution morphodynamique et paléohydrologique de la plaine alluviale de La Pran depuis le Tardiglaciaire», in: Nicole POUZAZ, Michel GUÉLAT, Laurence FREI PAROZ et Valérie PIUZ LOUBIER, *Delémont-En La Pran (Jura, Suisse). 1. Environnement alluvial et premières installations humaines entre Mésoolithique récent et âge du Bronze*, Cahiers d'archéologie jurassienne 22, Porrentruy 2009, pp.33-76.
- GUÉLAT *et al.* 1993 Michel GUÉLAT, Bernard MOULIN et Philippe RENTZEL, *Fouilles archéologiques RN9 Brig-Glis/Waldmatte, Chantier protohistorique. Rapport d'activités 1991/1992. Sédimentologie-Micromorphologie*, BW91-92/3, A.R.I.A, Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Rapport de fouille inédit, Sion 1993.
- GUÉLAT *et al.* 1995 Michel GUÉLAT, Matthieu HONEGGER et Philippe RENTZEL, «Nouvelles données sur la stratigraphie du site de Barmaz 1 (Collombey-Muraz VS). Analyse micromorphologique, confrontée à l'approche archéologique», *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* 78, 1995, pp.131-144.
- GUÉLAT *et al.* 1998 Michel GUÉLAT, Bernard MOULIN et Philippe RENTZEL, «Des sols enfouis dans les séquences de versant du Valais (Suisse). Caractérisation, durée des phases de pédogenèse et signification pour la chronologie régionale de l'Holocène», in: Actes du VIII^e Colloque International sur les Alpes dans l'Antiquité, Sion 26-28 septembre 1997, *Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Alpines de la Vallée d'Aoste* IX, 1998, pp.39-52.
- GUENAT 1987 Claire GUENAT, *Les sols forestiers non hydromorphes sur moraines du Jura vaudois: pédogenèse et relations sol-végétation*, Thèse de doctorat, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1987.
- GUTERSOHN 1961 Heinrich GUTERSOHN, *Geographie der Schweiz*, volume 2, Berne 1961.
- GUTIÉRREZ *et al.* 2008 FRANCISCO GUTIÉRREZ, Jesus GUERRERO et Pedro LUCHA, «A genetic classification of sinkholes illustrated from evaporite paleokarst exposures in Spain», *Environmental Geology* 53, 2008, pp.993-1006.
- HAEBERLI et NAEF 1988 Wilfried HAEBERLI et Felix NAEF, «Les torrents de boue et de pierres en haute montagne. Les événements de 1987 à Poschiavo et dans la haute vallée de Conches», *Les Alpes- Revue du Club Alpin Suisse*, 1988, pp.331-343.
- HARRIS *et al.* 1993 Edward Cecil HARRIS, Marley R. BROWN et Gregory J. BROWN, *Practices of Archaeological Stratigraphy*, London/San Diego 1993.
- HEIM 1932 Albert HEIM, *Bergsturz und Menschenleben*, Zürich 1932.
- HÉRAIL 1984 Gérard HÉRAIL, «Les cônes de déjection: formes et sédiments», *Bulletin des Centres de Recherche et d'Exploration-Production Elf-Aquitaine* 8, 1984, pp.135-150.
- HINTERMAIER-ERHARD et ZECH 1997 Gerd HINTERMAIER-ERHARD et Wolfgang ZECH, *Wörterbuch der Bodenkunde: Systematik, Genese, Eigenschaften, Ökologie und Verbreitung von Böden: 43 Tabellen*, Stuttgart, 1997.
- HÖLLERMANN 1978 Peter HÖLLERMANN, «Soil movements in the subtropical mountain environment of high Tenerife (Canary Islands)», in: *Colloque sur le périglaciaire d'altitude du domaine méditerranéen et abords: Strasbourg, Université Louis-Pasteur, 12-14 mai 1977*, Association Géographique d'Alsace, Strasbourg 1978, pp.91-112.
- HOLZHAUSER 1985 Hanspeter HOLZHAUSER, «Neue Ergebnisse zur Gletscher- und Klimageschichte des Spätmittelalters und der Neuzeit», *Geographica Helvetica* 4, 1985, pp.168-185.
- HOLZHAUSER 1995 Hanspeter HOLZHAUSER, «Gletscherschwankungen innerhalb der letzten 3200 Jahre am Beispiel des Grossen Aletsch- und des Gornergletschers: neue Ergebnisse», in: *Gletscher im ständigen Wandel: Jubiläums-Symposium der Schweizerischen Gletscherkommission, 1993 Verbier (VS): "100 Jahre Gletscherkommission - 100,000 Jahre Gletschergeschichte"*, Publikationen der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften 6, Zurich 1995.
- HOLZHAUSER *et al.* 2005 Hanspeter HOLZHAUSER, Michel MAGNY et Heinz J. ZUMBÜHL, «Glacier and lake-level variations in west-central Europe over the last 3500 years», *The Holocene* 15, 2005, pp.789-801.
- HOOKE et ROHRER 1979 Roger L. HOOKE et William L. ROHRER, «Geometry of alluvial fans: effect of discharge and sediment size», *Earth Surface Processes* 4, 1979, pp.147-166.

- HORMES *et al.* 2001 Anne HORMES, Benjamin U. MÜLLER et Christian SCHLÜCHTER, «The Alps with little ice: evidence of eight Holocene phases of reduced glacier extent in the Central Swiss Alps», *The Holocene* 11, 2001, pp. 255-265.
- HORWITZ 1911 Lazare HORWITZ, *Contribution à l'étude des cônes de déjections dans la vallée du Rhône (entre le glacier du Rhône et le Léman)*, Bulletin de la Société vaudoise de Sciences naturelles 47, Lausanne 1911.
- Hsü 1975 Kenneth J. Hsü, «Catastrophic debris streams (Sturzstroms) generated by rockfalls», *Bulletin of the geological Society of America* 86, 1975, pp. 129-140.
- HÜRLIMANN *et al.* 2003 M. HÜRLIMANN, Dieter RICKENMANN et C. GRAF, «Field and monitoring data of debris-flow events in the Swiss Alps», *Canadian Geotechnical Journal* 40, 2003, pp. 161-175.
- IVY-OCHS *et al.* 2008 Susan IVY-OCHS, Hanns KERSCHNER, Anne REUTHER, Frank PREUSSER, Klaus HEINE, Max MAISCH, Peter W. KUBIK et Christian SCHLÜCHTER, «Chronology of the last glacial cycle in the European Alps», *Journal of Quaternary Science* 23, 2008, pp. 559-573.
- IVY-OCHS *et al.* 2009 Susan IVY-OCHS, Hanns KERSCHNER, Max MAISCH, Markus CHRISTL, Peter W. KUBIK et Christian SCHLÜCHTER, «Latest Pleistocene and Holocene glacier variations in the European Alps», *Quaternary Science Reviews* 28, 2009, pp. 2137-2149.
- JAKOB 2005 Matthias JAKOB, «A size classification for debris flow», *Engineering Geology* 79, 2005, pp. 151-161.
- JAMAGNE 1967 Marcel JAMAGNE, *Bases et techniques d'une cartographie des sols*, Annales agronomiques 18, 1967, pp. 1-142.
- JAYET 1945 Adrien JAYET, «L'âge des terres rouges et de la rubéfaction quaternaire dans les régions voisines de Genève», *Compte Rendu des séances de la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève* 62, 1945, pp. 38-41.
- JAYET et SAUTER 1953 Adrien JAYET et Marc-Rodolphe SAUTER, «Observations géologiques et archéologiques récentes sur les terres rouges», *Bulletin de l'Institut National genevois* 56, 1953, pp. 151-166.
- JERGEN *et al.* 1992 Silvan JERGEN, Valentib BACHER, Werner LAGGER, Josef LAMBRIGGER, Fritz RITZMANN et Pius WERLEN, *Münster - als der Bach Kam*, Münster 1992.
- JOHNSON et RODINE 1984 Arvid M. JOHNSON et James D. RODINE, «Debris flow», in: Denys BRUNSDEN et David B. PRIOR, *Slope instability*, Chichester/New York 1984, pp. 257-361.
- JORDA 1985 Maurice JORDA, «La torrentialité holocène des Alpes françaises du sud. Facteurs anthropiques et paramètres naturels de son évolution», *Cahiers ligures de préhistoire et d'archéologie* 2, 1985, pp. 49-70.
- JORDA 1986 Maurice JORDA, «Le Dryas récent: une crise morphoclimatique majeure dans les Alpes françaises du Sud», *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica* 20, 1986, pp. 11-27.
- JORDA 1987 Maurice JORDA, «Morphogénèse postglaciaire des régions intra-alpines françaises du Sud. Le bassin de Barcelonnette (Ubaye) du Tardiglaciaire au Subboréal», in: Jean GUILAINE (éd.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*. Actes du colloque international du C.N.R.S., Montpellier, 26-29 avril 1983, Paris 1987, pp. 61-69.
- JORDA 1992 Maurice JORDA, «Morphogénèse et fluctuations climatiques dans les Alpes françaises du sud de l'Âge de Bronze au Haut Moyen Âge», *Les Nouvelles de l'Archéologie* 50, 1992, pp. 14-20.
- JORDA et ROSIQUE 1994 Maurice JORDA et Thierry ROSIQUE, «Le Tardiglaciaire dans les Alpes françaises du Sud: rythme et modalités des changements bio-morphoclimatiques», *Quaternaire* 5, 1994, pp. 141-149.
- JÖRIN *et al.* 2006 Ulrich E. JÖRIN, Thomas F. STOCKER et Christian SCHLÜCHTER, «Multicentury glacier fluctuations in the Swiss Alps during the Holocene», *The Holocene* 16, 2006, pp. 697-704.
- KAENEL et MÜLLER 1999 Gilbert KAENEL et Felix MÜLLER, «Introduction», in: Felix MÜLLER, Gilbert KAENEL et Geneviève LÜSCHER, *SPM IV. La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen Âge. Âge du Fer*, Bâle 1999, pp. 13-27.
- KELLY 2003 Meredith A. KELLY, *The late Würmian Age in the western Swiss Alps: last glacial maximum (LGM) ice-surface reconstruction and ¹⁰Be dating of late-glacial features*, Wissenschaftliche Arbeit, Institut für Geologie, Universität Bern, 2003.
- KELLY *et al.* 2004a Meredith A. KELLY, Jean-François BUONCRISTIANI et Christian SCHLÜCHTER, «A reconstruction of the last glacial maximum (LGM) ice-surface geometry in western Swiss Alps and contiguous Alpine regions in Italy and France», *Eclogae geologicae Helvetiae* 97, 2004, pp. 57-75.
- KELLY *et al.* 2004b Meredith A. KELLY, Peter W. KUBIK, Friedhelm VON BLANKENBURG et Christian SCHLÜCHTER, «Surface exposure dating of the Great Aletsch Glacier Egesen moraine system, western Swiss Alps, using the cosmogenic nuclide ¹⁰Be», *Journal of Quaternary Science* 19, 2004, pp. 431-441.

- KONERT et VANDENBERGHE 1997 Martin KONERT et Jef VANDENBERGHE, «Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction», *Sedimentology* 44, 1997, pp. 523-535.
- KSIASKIEWICZ 1958 Marian KSIASKIEWICZ, «Submarine slumping in the Carpathian Flysch», *Rocznik Polskiego Towarzystwa Geologicznego, Annales de la Société géologique de Pologne* 28, 1958, pp. 123-150.
- KUENEN 1965 Philip H. KUENEN, «Value of experiments in geology», *Geology en Mijnbouw* 44, 1965, pp. 22-36.
- KUNZ et REY 1995 Pierre KUNZ et Jean-Marc REY, «Intempéries du 23 septembre 1994 dans le Haut-Valais (Massif du Simplon): répétition de l'événement de 1993 un an après», *Bulletin de la Murithienne* 113, 1995, pp. 3-19.
- LAHOUSSE et ROMELÉ 2000 Philippe LAHOUSSE et Catherine ROMELÉ, «Le ravin des Sables (Hautes-Alpes, France): une nouvelle source de risque dans la vallée de la Clarée», *Géographie physique et Quaternaire* 54, 2000, pp. 271-280.
- LAHOUSSE *et al.* 2003 Philippe LAHOUSSE, Gilles GARITTE et Lucas THÉNARD, «Aléa et risque torrentiel dans le Briançonnais (Alpes françaises du Sud)», in: *Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins. Mélanges offerts au professeur René Lhénaff*, Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie 1, Chambéry 2003, pp. 191-200.
- LANG 1985 Gerhard LANG, «Palynological research in Switzerland 1925-1985», in: Gerhard LANG, *Swiss lake and mire environments during the last 15 000 years*, Dissertationes botanicae 87, 1985, pp. 11-82.
- LANG et TOBOLSKI 1985 Gerhard LANG et Kazimierz TOBOLSKI, «Hopschensee-Late-Glacial and Holocene environment of a lake near the timberline», in: LANG 1985, pp. 209-228.
- LE COEUR *et al.* 1997 Charles LE COEUR, Marie-Josée PENVEN et Tatiana MUXART, «Les temps géomorphologiques de l'environnement», in: *Les temps de l'environnement*, Communications des journées du Programme Environnement, Vie et Sociétés PIREVS, Toulouse, Centre des Congrès, 5-6-7 novembre 1997, sessions 3, 4 et 5, Toulouse 1997, pp. 301-305.
- LE FILLÂTRE 2011 Virginie LE FILLÂTRE, «Le ruissellement sur le site protohistorique du Puech de Mus (Sainte-Eulalie-de-Cernon, Aveyron, France)», *Quaternaire* 22, 2011, pp. 165-182.
- LE ROY 2012 Melaine LE ROY, *Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes occidentales - Apports de la dendrochronologie et des datations par isotopes cosmogéniques produits in situ*, Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2012.
- LEEDER 1982 Mike R. LEEDER, *Sedimentology, process and product*, London/Boston 1982.
- LENOBLE 2003 Arnaud LENOBLE, *Le rôle du ruissellement dans la formation des sites préhistoriques: approche expérimentale*, Thèse de doctorat, Géosciences et Sciences de l'environnement, Université de Bordeaux 1, 2003.
- LE ROUX 2009 Olivier LE ROUX, *Caractérisation de l'évolution géomorphologique de la basse vallée de la Romanche en relation avec les instabilités gravitaires de ses versants rocheux - contraintes morphologiques, géophysiques et géochronologiques*, Thèse de doctorat, Université Joseph-Fourier, Grenoble 2009.
- LESER *et al.* 1985 Hartmut LESER, Hans-Dieter HAAS, Thomas MOSIMANN et Reinhard PAESLER (coord.), *Diercke-Wörterbuch der Allgemeinen Geographie*, München/Braunschweig 1985.
- LHÉNAFF 1996 Robert LHÉNAFF, «Les formations liées à des écroulements rocheux: exemples alpins», *Quaternaire* 7, 1996, pp. 69-74.
- LIPPMANN-PROVANSAL 1987 Mireille LIPPMANN-PROVANSAL, «Dynamiques géomorphologiques holocènes en Campanie (Italie méridionale)», in: Jean GUILAINE (éd.), *Premières communautés paysannes en Méditerranée occidentale*. Actes du colloque international du C.N.R.S., Montpellier, 26-29 avril 1983, Paris 1987, pp. 52-59.
- LOWE 1975 Donald R. LOWE, «Water escape structures in coarse-grained sediments», *Sedimentology* 22, 1975, pp. 157-204.
- LOWE 1976 a Donald R. LOWE, «Grain flow and grain flow deposits», *Journal of sedimentary Petrology* 46, 1976, pp. 188-199.
- LOWE 1976 b Donald R. LOWE, «Subaqueous liquefied and fluidized sediment flows and their deposits», *Sedimentology* 23, 1976, pp. 285-308.
- LOZET et MATHIEU 1997 Jean LOZET et Clément MATHIEU, *Dictionnaire des sciences du sol*, Paris 1997.
- LUNDQVIST 1988 Jan LUNDQVIST, «Glacigenic processes, deposits and landforms», in: Richard P. GOLDTHWAIT et Charles L. MATSCH, *Genetic classification of glacial deposits*, Rotterdam 1988, pp. 3-15.

- MACAIRE 1990 Jean-Jacques MACAIRE, «L'enregistrement du temps dans les dépôts fluviaux superficiels: de la géodynamique à la chronostratigraphie», in: *Méthodes et concepts en stratigraphie du Quaternaire européen*. Actes du colloque international du C.N.R.S., Dijon, 5-7 décembre 1988, Paris 1990, pp. 41-49.
- MAISCH 1982 Max MAISCH, «Zur Gletscher- und Klimageschichte des alpinen Spätglazials», *Geographia Helvetica* 2, 1982, pp. 93-104.
- MAISE 1998 Christian MAISE, «Archäoklimatologie - Von Einfluss nacheiszeitlicher Klimavariabilität in der Ur- und Frühgeschichte», *Jahrbuch der Schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte* 81, 1998, pp. 197-235.
- MALET *et al.* 2002 Jean-Philippe MALET, Alexandre REMAÎTRE, Christian ANCEY, Jacques LOCAT, Maurice MEUNIER et Olivier MAQUAIRE, «Caractérisation rhéologique des coulées de débris et des laves torrentielles du bassin marneux de Barcelonnette (Alpes-de-Haute-Provence, France). Premiers résultats», *Rhéologie* 1, 2002, pp. 17-25.
- MALET *et al.* 2004 Jean-Philippe MALET, Alexandre REMAÎTRE et Olivier MAQUAIRE, «Runout modelling and extension of the threatened area associated with muddy debris flows», *Géomorphologie: Relief, Processus, Environnement* 3, 2004, pp. 195-210.
- MANGERUD *et al.* 1974 Jan MANGERUD, Svend T. ANDERSEN, Björn E. BERGLUND et Joakim J. DONNER, «Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification», *Boreas* 3, 1974, pp. 109-128.
- MARCHI et BROCHOT 2000 Lorenzo MARCHI et Sylvie BROCHOT, «Les cônes de déjection torrentiels dans les Alpes françaises. Morphométrie et processus de transport solide torrentiel», *Revue de Géographie Alpine* 88, 2000, pp. 23-38.
- MARCINIAK 1988 Barbara MARCINIAK, «Diatoms in bottom sediments of Lake Hobschen, Simplon, Switzerland», in: Gerhard LANG et Christian SCHLÜCHTER (éds), *Lake, Mire and River environments during the last 15 000 years. Proceedings of the INQUA/IGCP 158 meeting on the Palaeohydrological changes during the last 15 000 years, Bern, June 1985*, Rotterdam 1988, pp. 31-39.
- MELOSH 1987 Jay H. MELOSH, «The mechanics of large rock avalanches», *Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology* 7, 1987, pp. 41-49.
- MEUNIER et BERTRAN 2004 Maurice MEUNIER et Pascal BERTRAN, «Charriage torrentiel», in: Pascal BERTRAN, *Dépôts de pente continentaux. Dynamique et faciès*, Quaternaire hors-série 1, Paris 2004, pp. 163-175.
- MIDDLETON et HAMPTON 1976 Gerard V. MIDDLETON et Monty A. HAMPTON, «Subaqueous sediment transport and deposition by sediment gravity flows», in: Daniel J. STANLEY et Donald J. P. SWIFT, *Marine sediment transport and environmental management*, New York/London/Sidney/Toronto 1976, pp. 197-218.
- MIRAMONT *et al.* 1999 Cécile MIRAMONT, Cristelle BELINGARD, Jean-Louis EDOUARD et Maurice JORDA, «Reconstitution des paléoenvironnements holocènes alpins et préalpins - Evaluation des paramètres climatiques et anthropiques responsables de l'évolution», in: Philippe DELLA CASA (éd.), *Prehistoric alpine environment, society, and economy: papers of the International Colloquium PAESE '97 in Zurich*, Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie 55, Bonn 1999, pp. 189-196.
- MISKOVSKY et DEBARD 2002 Jean-Claude MISKOVSKY et Evelyne DEBARD, «Granulométrie des sédiments et étude de leur fraction grossière», in: Jean-Claude MISKOVSKY, *Géologie de la préhistoire: méthodes, techniques, application*, Paris 2002, pp. 479-501.
- MOULIN 1991 Bernard MOULIN, *Hauterive-Champréveyres, 3. La dynamique sédimentaire et lacustre durant le Tardiglaciaire et le Postglaciaire*, Archéologie neuchâteloise 9, Saint-Blaise 1991.
- MOULIN 2004 Bernard MOULIN, *Brig-Glis/Gamsen 1. Histoire sédimentaire d'un piémont en domaine intra-alpin, du Tardiglaciaire à l'actuel*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2004 (Rapport scientifique, 2004/01).
- MOULIN et REY 2008 Bernard MOULIN et Pierre-Jérôme REY, «Les séquences pédo-sédimentaires du col du Petit-Saint-Bernard dans leur contexte archéologique», in: Marc DESMET, Michel MAGNY et Florence MOCCI, *Du climat à l'homme. Dynamique holocène de l'environnement dans le Jura et les Alpes*. Actes du Colloque GDR-JURALP organisé à Aix-en-Provence les 15 et 16 novembre 2007, collection EDYTEM - Cahiers de Paléoenvironnement 6, Chambéry 2008, pp. 191-206.
- MOURIER 2008 Brice MOURIER, *Contribution de l'approche sédimentologique à la reconstitution de l'histoire des sols. Définition des traceurs pédologiques et application sur des sédiments lacustres de montagne (Maurienne, Savoie, France)*, Thèse de doctorat, Université de Savoie, Chambéry 2008.

- MOURIER *et al.* 2010 Brice MOURIER, Jérôme POULENARD, Christopher CARCAILLET et David WILLIAMSON, «Soil evolution and subalpine ecosystem changes in the French Alps inferred from geochemical analysis of lacustrine sediments», *Journal of Paleolimnology* 44, 2010, pp. 571-587.
- MÜLLER 1977 Hans-Niklaus MÜLLER, «Fossile Böden (fAh) in einer Schutthalde (Rotelsee, Simplon-Pass VS)», *Bulletin de la Murithienne* 94, 1977, pp. 73-83.
- MÜLLER 1995 Karoline MÜLLER, «Le site de Sion-Tourbillon (VS): nouvelles données sur le Néolithique ancien valaisan», *Archéologie suisse* 18, 1995, pp. 102-108.
- MÜLLER *et al.* 1976 Fritz MÜLLER, Toni CAFLISCH et Gerhard MÜLLER, *Firn und Eis in der schweizer Alpen: Gletscherinventar*, Eidgenössische technische Hochschule Zürich, Geographisches Institut, Zurich 1976.
- MUNSELL COLOR CO. 1992 *Munsell Soil Color Charts*, Newburgh (New York) 1992.
- NAGTEGAAL 1965 Peter J. C. NAGTEGAAL, «An approximation to the genetic classification of non-organic sedimentary structures», *Geology en Mijnbouw* 44, 1965, pp. 347-352.
- NAGY 2012 Patrick NAGY, *Castaneda GR: die Eisenzeit in Misoix*, Thèse de doctorat de l'Université de Zurich, *Universitätsforschungen zur prähistorischen Archäologie*, Band 218, Bonn 2012.
- NICOD 1976 Jean NICOD, «Karsts des gypses et des évaporites associées», *Annales de Géographie* 471, 1976, pp. 513-554.
- NICOD 1993 Jean NICOD, «Recherches nouvelles sur les karsts des gypses et des évaporites associées (seconde partie: géomorphologie, hydrologie et impact anthropique)», *Karstologia* 21, 1993, pp. 15-30.
- NICOUD et CURDY 1997 Claire NICOUD et Philippe CURDY, «L'habitat alpin du premier âge du Fer de Brig-Glis/Waldmatte (Valais, Suisse). Sériation et premières hypothèses sur l'évolution d'un espace villageois», in: Ginette AUXIETTE, Lamys HACHEM et Bruno ROBERT, *Espaces physiques espaces sociaux dans l'analyse interne des sites du Néolithique à l'âge du Fer*. Actes du 119^e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Amiens, 26-30 octobre 1994, Paris 1997, pp. 407-421.
- NILSEN 1982 Tor H. NILSEN, «Alluvial fan deposits», in: Peter A. SCHOLLE et Darwin SPEARING, *Sanstone Depositional Environments*, American Association of Petroleum Geologists Memoir 31, Tulsa 1982, pp. 49-86.
- OcCC 1998 *La Suisse face aux changements climatiques. Impacts des précipitations extrêmes*, Organe consultatif sur les Changements Climatiques (OcCC), Berne 1998.
- OWEN 1987 Geraint OWEN, «Deformation processes in unconsolidated sands», in: Mervyn E. JONES et R. M. F. PRESTON (éds), *Deformation of Sediments and Sedimentary Rocks*, Geological Society Special Publications 29, London 1987, pp. 11-24.
- PACCOLAT 1998 Olivier PACCOLAT, «Chronologie relative des sites alpestres gallo-romains: quelques réflexions à partir de trois habitats valaisans», in: Actes du VIII^e Colloque International sur les Alpes dans l'Antiquité, Sion 26-28 septembre 1997, *Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Alpines de la Vallée d'Aoste* IX, 1998, pp. 135-143.
- PACCOLAT et TAILLARD 2001 Olivier PACCOLAT et Pascal TAILLARD, «Une industrie plâtrière du Haut Moyen Âge près de Gamsen VS», *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* 84, 2001, pp. 87-108.
- PACCOLAT *et al.* 2004 Olivier PACCOLAT, Pascal GIBUT, Jean-Christophe MORET et Pascal TAILLARD, *Gamsen, époque historique. Chantier autoroute A9: Fouilles archéologiques 1987-1999. Volume 1. Données générales et chronologie*, TERA, Sion 2004 (rapport scientifique non publié).
- PECH et JOMELLI 2001 Pierre PECH et Vincent JOMELLI, «Le rôle du cône apical dans le déclenchement des coulées de débris alpines du massif du Dévoluy, Hautes-Alpes (France)», *Géographie physique et Quaternaire* 55, 2001, pp. 47-61.
- PFISTER 1998 Christian PFISTER, *Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995)*, Bern 1998.
- PIERSON et COSTA 1987 Thomas C. PIERSON et John E. COSTA, «A rheologic classification of subaerial sediment-water flows», *Geological Society of America, Reviews in Engineering Geology* 7, 1987, pp. 1-12.
- POTTER et PETTIJOHN 1963 Paul E. POTTER et Francis J. PETTIJOHN, *Paleocurrents and basin analysis*, Berlin/Heidelberg/Göttingen/New York 1963.
- POULENARD 2011 Jérôme POULENARD, *Des empreintes pédologiques dans les bassins versants et les archives naturelles*, Mémoire présenté pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger les Recherches, Université de Savoie, Chambéry 2011.
- PUGIN 1989 André PUGIN, «Déglaciation dans la vallée préalpine de la Sarine en Gruyère: une analyse sédimentologique», *Eclogae geologicae Helvetiae* 82, 1989, pp. 285-324.

- RAETZO 1997 Hugo RAETZO, *Massenbewegungen im Gurnigelftysch und einfluss der Klimaänderung: Arbeitsbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes «Klimaänderungen und Naturkatastrophen»*, NFP 31, Zürich 1997.
- RAETZO et LATELTIN 2003 Hugo RAETZO et Olivier LATELTIN, «Mass Movements: landslides, blockfalls and rock avalanches», in: *Événements extrêmes et changements climatiques*, OcCC, Berne 2003.
- RAMBERG 1981 Hans RAMBERG, *Gravity deformation and the earth's crust*, London/New York/Toronto 1981.
- RAPP et STRÖMQUIST 1976 Anders RAPP et Lennart STRÖMQUIST, «Slope erosion due to extreme rainfall in the Scandinavian mountains», *Geografiska Annaler* 58 A, 1976, pp. 193-200.
- READING 1986 Harold G. READING, *Sedimentary environments and facies*, Londres 1986.
- REBETEZ 2011 Martine REBETEZ, *La Suisse se réchauffe. Effet de serre et changement climatique*, Nature & Environnement, Lausanne 2011.
- REBETEZ *et al.* 1997 Martine REBETEZ, Ralph LUGON et Pierre-Alain BAERISWYL, «Climatic change and debris flows in high mountain regions: the case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps)», *Climatic Change* 36, 1997, pp. 371-389.
- REMAÎTRE 2006 Alexandre REMAÎTRE, *Morphologie et dynamique des laves torrentielles: Applications aux torrents des Terres Noires du bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud)*, Thèse de doctorat, Université de Basse-Normandie, Caen 2006.
- REYNARD *et al.* 2009 Emmanuel REYNARD, Gilles ARNAUD-FASSETTA, Laetitia LAIGRE et Philippe SCHOENEICH, «Le Rhône alpin vu sous l'angle de la géomorphologie : état des lieux», in: Emmanuel REYNARD, Myriam EVÉQUOZ-DAYEN et Pierre DUBUIS, «Le Rhône: dynamique, histoire et société», *Vallesia* 21, 2009, pp. 75-102.
- RICHARD 1992 Hervé RICHARD, «Les fluctuations de la limite altitudinale de la forêt», in: Hervé RICHARD et Michel MAGNY, *Le climat à la fin de l'Age du Fer et dans l'Antiquité (500 BC - 500 AD). Méthodes d'approche et résultats*, *Les Nouvelles de l'Archéologie* 50, 1992, pp. 38-41.
- ROULIER 1995 Eric ROULIER, «Un regard ethno-archéologique sur la genèse de l'irrigation en Valais», *Annales valaisannes* 65, 1995, pp. 65-74.
- ROVÉRA 1993 Georges ROVÉRA, «Instabilité des versants et dissolution des évaporites dans les Alpes internes: l'exemple de la montagne de Friolin (Peisey-Nancroix, Savoie)», *Revue de Géographie alpine* 81/1, 1993, pp. 71-84.
- ROVÉRA *et al.* 2003 Georges ROVÉRA, Christophe CORONA et Lise WLÉRICK, «Processus d'érosion et mesure de l'ablation sur les versants gypseux du Petit Mont Blanc de Pralognan vers 2500 m (Vanoise, Alpes du Nord, France)», in: *Dynamique et vulnérabilités des milieux montagnards méditerranéens et alpins. Mélanges offerts au professeur René Lhénaff*, Collection EDYTEM - Cahiers de Géographie 1, Chambéry 2003, pp. 107-114.
- SALVADOR *et al.* 2002 Pierre-Gil SALVADOR, Agnès VÉROT-BOURRELY, Jean-Paul BRAVARD, Odile FRANC et Sylvain MACÉ, «Les crues du Rhône à l'époque gallo-romaine dans la région lyonnaise», in: Jean-Paul BRAVARD et Michel MAGNY, *Les fleuves ont une histoire. Paléo-environnement des rivières et des lacs français depuis 15 000 ans*, Paris 2002, pp. 215-221.
- SAUTER *et al.* 1971 Marc-Rodolphe SAUTER, Alain GALLAY et Louis CHAIX, «Le Néolithique du niveau inférieur du Petit-Chasseur à Sion, Valais», *Annuaire de la Société Suisse de Préhistoire et d'Archéologie* 56, 1971, pp. 17-76.
- SCHEFFER et SCHACHTSCHABEL 1970 Fritz SCHEFFER et Paul SCHACHTSCHABEL, *Lehrbuch der Bodenkunde, mit 70 Tabellen*, Stuttgart 1970.
- SCHINDLER 1974 Conrad SCHINDLER, «Zur Geologie des Zürichsees», *Eclogae geologicae Helveticae* 67, 1974, pp. 163-196.
- SCHINDLER 2004 Martin Peter SCHINDLER, *Brig-Glis/Gamsen 3. L'habitat protohistorique de Waldmatte. Volume 2 - Auswertung der Hallstatt- und La Tène A zeitlichen Metallfunde*, ARIA S.A., Archéologie et Recherches Interdisciplinaires dans les Alpes, Sion 2004 (Rapport scientifique, 2004/03-2).
- SCHLÜCHTER *et al.* 1987 Christian SCHLÜCHTER, Max MAISCH, Jörg SUTER, P. FITZE, W. A. KELLER, Conradin A. BURGA et E. WYNISTORF, «Das Schieferkohlenprofil von Gossau (Kt. Zürich) und seine stratigraphische Stellung innerhalb der letzten Eiszeit», *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich* 132/3, 1987, pp. 135-174.
- SCHLÜCHTER et JÖRIN 2005 Christian SCHLÜCHTER et Ulrich E. JÖRIN, «Les Alpes sans glaciers? Le bois et la tourbe: des indicateurs de climat», *Les Alpes - Revue du Club Alpin Suisse* 6, 2005, pp. 34-47.

- SCHOENEICH 1998 Philippe SCHOENEICH, *Le retrait glaciaire dans les vallées des Ormonts, de l'Hongrin et de l'Etivaz (Préalpes vaudoises)*, Thèse de doctorat, Travaux et Recherches 14, Lausanne 1998.
- SCHOENEICH *et al.* 1998 Philippe SCHOENEICH, Claire DORTHE-MONACHON, Sylvain JAILLET et Stéphane BALLANDRAS, «Le retrait glaciaire dans les vallées des Préalpes et des Alpes au Tardiglaciaire», in: Actes du VIII^e Colloque International sur les Alpes dans l'Antiquité, Sion 26-28 septembre 1997, *Bulletin d'Etudes Préhistoriques et Alpines de la Vallée d'Aoste* IX, 1998, pp. 23-37.
- SCHOENEICH *et al.* 1996 Philippe SCHOENEICH, Jean TERCIER, Jean-Pierre HURNI, Christian ORCEL et Alain ORCEL, «Les crises catastrophiques du glissement des Parchets (Préalpes vaudoises, Suisse): indice d'une augmentation des précipitations extrêmes entre 2000 et 1500 14 C BP», *Quaternaire* 7, 1996, pp. 97-109.
- SCHWERTMANN 1993 Udo SCHWERTMANN, «Relations between iron oxides, soil color and soil formation», in: J. M. BIGHAM et E. J. CIOLKOSZ, *Soil Color*, SSSA Special Publication 31, 1993, pp. 51-69.
- SCHWERTMANN *et al.* 1982 Udo SCHWERTMANN, Enver MURAD et Darrell G. SCHULZE, «Is there holocene reddening (hematite formation) in soils of aeric temperate areas?», *Geoderma* 27, 1982, pp. 209-223.
- SELLAMI 2008 Souad SELLAMI, «Les tremblements de terre en Valais: caractéristiques de la sismicité et évaluation du danger», *Bulletin de la Murithienne* 126, 2008, pp. 7-18.
- SELLEY 1988 C. Richard SELLEY, *Applied sedimentology*, London 1988.
- SELMER-OLSEN 1954 Rolf SELMER-OLSEN, «Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet», *Norges Geologiske Undersøkelse* 186, 1954, pp. 1-102.
- SHEPARD 1954 Francis P. SHEPARD, «Nomenclature based on sand-silt-clay ratios», *Journal of sedimentary Petrology* 24, 1954, pp. 151-158.
- SIMONNEAU *et al.* 2013 Annaëlle SIMONNEAU, Elise DOYEN, Emmanuel CHAPRON, Laurent MILLET, Boris VANNIÈRE, Christian DI GIOVANNI, Nicolas BOSSARD, Kazuyo TACHIKAWA, Edouard BARD, Patrick ALBÉRIC, Marc DESMET, Gwenaëlle ROUX, Patrick LAJEUNESSE, Jean-François BERGER et Fabien ARNAUD, «Holocene land-use evolution and associated soil erosion in the French Prealps inferred from Lake Paladru sediments and archaeological evidences», *Journal of Archaeological Science* 40, 2013, pp. 1636-1645.
- SOLDATI *et al.* 2004 Mauro SOLDATI, Alessandro CORSINI et Alessandro PASUTO, «Landslides and climate change in Italian Dolomites since the Late glacial», *Catena* 55, 2004, pp. 141-161.
- SORDOILLET 1999 Dominique SORDOILLET, *Géoarchéologie de sites préhistoriques holocènes*, Thèse de doctorat, Centre des Sciences de la Terre, Université de Bourgogne Dijon, 1999.
- SSSA 1996 SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA, *Glossary of soil science terms*, Madison 1996.
- STOFFEL 2010 Markus STOFFEL, «Magnitude-frequency relationships of debris flows - A case study based on field surveys and tree-ring records», *Geomorphology* 116, 2010, pp. 67-76.
- STOFFEL et BENISTON 2006 Markus STOFFEL et Martin BENISTON, «On the incidence of debris flows from the Early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps», *Geophysical Research Letters* 33, 2006, pp. 1-4.
- STOFFEL *et al.* 2005 Markus STOFFEL, Igor LIÈVRE, Delphine CONUS, Michael GRICHTING, Hugo RAETZO, Holger GÄRTNER et Michel MONBARON, «400 years of debris-flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland», *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 37, 2005, pp. 387-395.
- STOFFEL *et al.* 2008 Markus STOFFEL, Delphine CONUS, Michael GRICHTING, Igor LIÈVRE et Gilles MAÎTRE, «Unraveling patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in Swiss Alps: Chronology, environment and implications for the future», *Global and Planetary Change* 60, 2008, pp. 222-234.
- TALON 1997 Brigitte TALON, *Evolution des zones supra-forestières des Alpes sud-occidentales françaises au cours de l'Holocène: analyse pédoanthracologique*, Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 1997.
- THELER 2010 David THELER, *Contribution à la cartographie géomorphologique de la dynamique sédimentaire des petits bassins versants torrentiels*, Thèse de doctorat, Institut de Géographie, Université de Lausanne 2010.
- THÉNARD 2009 Lucas THÉNARD, *Torrents et torrentialité dans la vallée de la Guisane. Contribution d'une étude géographique à la gestion durable du risque torrentiel à Serre-Chevalier (Briançonnais, Hautes-Alpes, France)*, Thèse de doctorat, Sciences et Technologies, Université de Lille 1, 2009.

- TISSIÈRES 1990 Pascal TISSIÈRES, *Etude sédimentologique et géotechnique des dépôts deltaïques de Granges-près-Marnand*, Thèse de doctorat, Département de Génie Civil, Université de Lausanne, 1990.
- TRICARD 1961 Jean TRICARD, «Mécanismes normaux et phénomènes catastrophiques dans l'évolution des versants du bassin du Guil (Hautes-Alpes, France)», *Zeitschrift für Geomorphologie Suppl.* 5, 1961, pp. 277-301.
- VAN VLIET-LANOË 1985 Brigitte VAN VLIET-LANOË, «Frost Effects in Soils», in: John BOARDMAN, *Soils and Quaternary Landscape Evolution*, Chichester/New York 1985, pp. 117-158.
- VAN VLIET-LANOË 1987 Brigitte VAN VLIET-LANOË, «Dynamique périglaciaire actuelle et passée. Apport de l'étude micromorphologique et de l'expérimentation», *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire* 31, 1987, pp. 113-132.
- VAN VLIET-LANOË 1988 Brigitte VAN VLIET-LANOË, *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest. Processus et héritages*, Thèse de doctorat, Université de Paris 1-Sorbonne, 1988.
- VANDENBERGHE et VAN DEN BROEK 1982 Jef VANDENBERGHE et Peter VAN DEN BROEK, «Weichselian convolution phenomena and processes in fine sediments», *Boreas* 11, 1982, pp. 299-315.
- VESAJOKI 1982 Heikki VESAJOKI, «Deformation of soft sandy sediments during deglaciation and subsequent emergence of land areas; examples from northern Karelia, Finland», *Boreas* 11, 1982, pp. 11-28.
- VEYRET et VEYRET 1967 Paul VEYRET et Germaine VEYRET, *Au coeur de l'Europe, les Alpes*, Paris 1967.
- WALKER 1984 Roger G. WALKER, *Facies models*, Geoscience Canada reprint series 1, Toronto 1984.
- WALKER et al. 2012 Mike. J. C. WALKER, Max BERKELHAMMER, Svante BJÖRCK, Les Cwynar, David A. FISHER, Antony LONG, John J. LOWE, Rewi M. NEWNHAM, Sune O. RASMUSSEN et Harvey WEISS, «Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by the Working Group INTIMATE (Integration of ice-core, marine and terrestrial records) and the Subcommission on Quaternary Stratigraphy (International Commission on Stratigraphy)», *Journal of Quaternary Science* 27, 2012, pp. 649-659.
- WERNER 1988 Philippe WERNER, *La flore*, Connaître la nature en Valais 2, Martigny 1988.
- WINISTÖRFER 1977 Jörg WINISTÖRFER, «Paléogéographie des stades glaciaires des vallées de la rive gauche du Rhône entre Viège et Aproz (VS)», *Bulletin de la Murithienne* 94, 1977, pp. 1-72.
- WOHLFARTH et al. 1994 Barbara WOHLFARTH, Marie-José GAILLARD, Wilfried HAEBERLI et Kerry KELTS, «Environment and climate in southwestern Switzerland during the last termination, 15-10 ka BP. A tentative synthesis of bio- and lithostratigraphical records, oxygen isotopes, geomorphological and palaeoglaciological data», *Quaternary Science Reviews* 13, 1994, pp. 361-394.
- ZANINI et al. 2006 Flavio ZANINI, Elodie ZANINI, Christine WEBER et Rodolphe SCHLAEPFER, «Analyse de la dynamique du paysage de la plaine du Rhône de 1850 à 2003 sur la base des cartes topographiques», *Bulletin de la Murithienne* 124, 2006, pp. 89-98.
- ZELENSKA et al. 1991 Antoine ZELENSKA, Heinz BANTLE et Draginja LAZIC, *Horizons apparents ainsi qu'arcs diurnes calculés et observés pour les héliomètres du réseau ANETZ de l'ISM*, rapport de travail de l'Institut suisse de Météorologie 166, Zurich 1991.
- ZRYD 1999 Amédée ZRYD, *Les glaciers*, La Nature dans les Alpes, Saint-Maurice, 1999.