

Zeitschrift: Actes de la Société jurassienne d'émulation
Herausgeber: Société jurassienne d'émulation
Band: 109 (2006)

Artikel: Du sol forestier au sol agricole de nature loessique en Ajoie, canton du Jura : éléments de pédologie et de géoarchéologie
Autor: Aubry, Denis
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-549970>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Du sol forestier au sol agricole de nature löessique en Ajoie, canton du Jura

Denis Aubry

Préambule

Le présent article fait suite à mon intervention au cours de l'excursion du Cercle scientifique de la SJE du 1^{er} octobre 2005, consacrée aux sols du Jura. Il présente quelques réflexions sur la pédologie des sols en relation avec l'environnement naturel et également avec l'intervention de l'homme sur le système écologique «sol». Cette contribution intègre également quelques analyses et données chiffrées récoltées au cours de nos relevés, menés durant la prospection de la zone d'emprise des travaux A16 (sondages de reconnaissance et études des gisements archéologiques). Le résultat exhaustif de toutes ces activités est présenté, rappelons-le, dans les rapports inédits de l'Office de la Culture ainsi que dans les Cahiers d'Archéologie jurassienne (CAJ), édités conjointement par l'Office de la Culture et la Société jurassienne d'Emulation. Cet article procède plus d'une approche au sens «écologie et environnement» qu'au sens «géologie paléoenvironnementale et chronologique», cette seconde approche ayant déjà été présentée par mon collègue Michel Guélat dans les *Actes* 2005 de la SJE (Guélat, 2005, pp. 9-31). Nous tenons à préciser aussi que cet article n'a de loin pas la prétention d'un travail de fond, en ce sens que les données pédologiques proposées sont restreintes à un nombre limité d'essais de laboratoire: nous n'avons pas procédé aux analyses des taux de saturation ($V = S/T$; fig. 10) qui nous permettraient d'énoncer avec plus de certitude une nomenclature telle que par exemple «Néoluvisols» et «Brunisols oligosaturés».

Introduction

Lorsque l'on parcourt le territoire ajoulot qui présente un soubassement calcaire coiffé d'une couverture sédimentaire quaternaire peu épaisse, on pourrait s'attendre à rencontrer des sols sous influence directe de carbonates (Bruckert et Gaiffe 1985) tels que des rendzines (rendosols), des sols humo-calcaires (calcimagnésiques), lithoclaciques à mor (organosols insaturés), voire bruns calcaires (calcosols). Or tous les sols sous couvert forestier investigués par les sondages et chantiers archéologiques A16 (fig. 1) se sont révélés être d'une nature acide (pH bas) et brunifiée, avec une «terre végétale» (horizon organo-minéral A) peu épaisse et relativement peu organique (moins de 3% de carbone organique). Bref, ils présentent plutôt des caractéristiques les rapprochant des sols bruns lessivés, tels que les brunisols oligosaturés et / ou les néoluvisols (Baize et Girard 1995). Cette inadéquation entre dépôts quaternaires acides et soubassement rocheux calcaire provient en fait de la nature minéralogique des constituants des formations sédimentaires. En effet, les sols d'Ajoie présentent tous la particularité de se développer sur une couverture de sédiments siliceux d'origine éolienne, généralement de faible épaisseur, celle-ci étant toutefois suffisante pour avoir influencé la pédologie vers la voie acide (Gobat 1996). Comme conséquence concrète du contexte

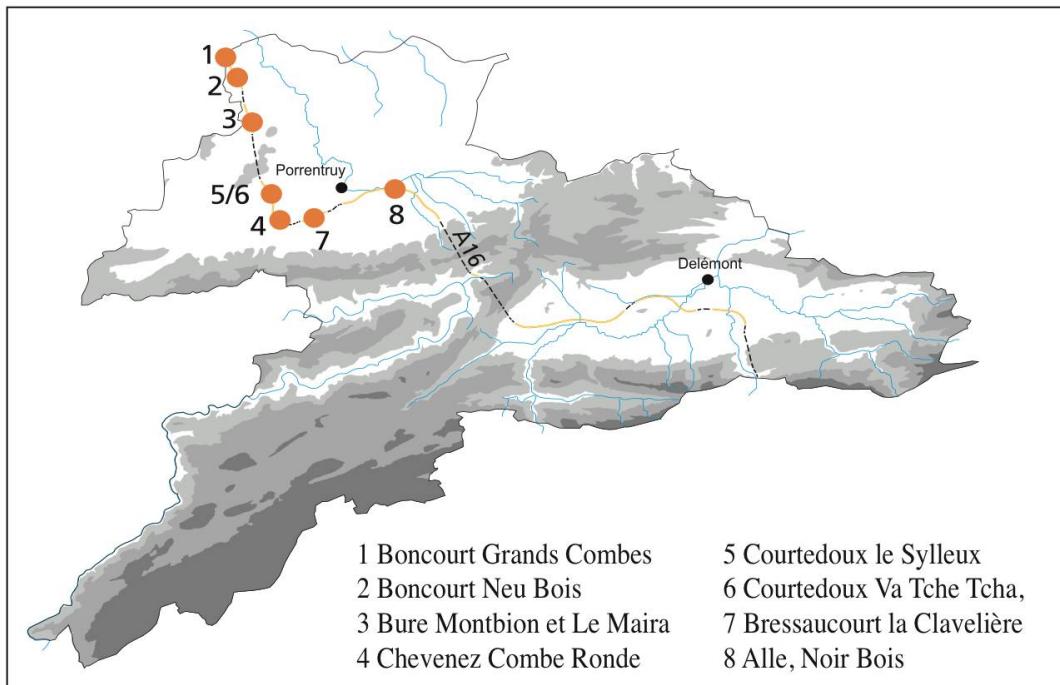


Fig. 1: Carte présentant les limites du canton du Jura avec la localisation des sites et lieux-dits mentionnés dans le texte. En ombrage les zones situées à plus de 600 m d'altitude et en blanc l'Ajoie tabulaire de la zone submontagnarde (360 à 600m). Infographie M.-C. Maître et L. Petignat Häni.

acide des sols, nous pouvons indiquer par exemple que les pollens sont le plus souvent absents des sédiments loessiques bien qu'il faille rappeler que l'ennemi principal de ceux-ci reste un milieu oxygéné. Une autre caractéristique particulière propre aux sols de la région ajouloise est qu'ils ont été épargnés par les derniers glaciers alpins, jurassiens et vosgiens (fig. 7). Cette particularité a induit qu'ils ont vécu une «histoire pédologique» longue, en relation avec les variations climatiques du Pléistocène supérieur et de l'Holocène. A cette histoire des sols qui s'est très longtemps déroulée dans des conditions naturelles, il faut, bien entendu, introduire la rupture violente qui s'est produite dans le fonctionnement de leur système écologique au cours des défrichements pratiqués par les agriculteurs dès le Néolithique moyen (IV^e millénaire av. J.-C.) dans notre région.

Le paysage ajoulot

Du point de vue paysager, l'Ajoie tabulaire est constituée de petites plaines de molasse oligocènes (Ajoie de l'Est), de plateaux et de vallons, de combes (fig. 2), de vallées sèches (Ajoie de l'Ouest) ainsi que de quelques petites plaines alluviales (Allaine, Vendline). L'altitude moyenne de ce territoire oscille entre 365m (douane de Boncourt) et 613,4 m (colline «En Tchertau», commune de Bure).



Fig. 2: Vue de la vallée sèche de Va Tche Tcha, commune de Courtedoux, avec la fouille d'une grande doline du type de celle de Boncourt, Neu Bois (voir colonne fig. 12), située sur le tracé de l'A16. Tout en arrière-plan vers le sud, on aperçoit les contreforts de la chaîne du Jura plissé. Photo D. Aubry.



Fig. 3: Vue des pentes au lieu-dit «la Clavelière», commune de Bressaucourt. Le sol agricole peu épais, constitué de colluvions brunifiées, repose directement sur la charpente calcaire modérément inclinée, constituant le flanc nord de l'anticlinal du Banné. Photo D. Aubry.



Fig. 4: Paysage ondulé du Jura tabulaire situé à 500 m au sud-ouest du hameau du Maira (au nord du village de Bure). En premier plan, une tranchée de prospection hydrogéologique taillée dans des lœss caillouteux. En arrière-plan, on remarque une grande doline située au départ de l'important réseau karstique de la Milandrine. Altitude 503 m. Photo D. Aubry

Cet intervalle d'altitudes correspond à l'étage submontagnard défini en général par les forestiers. L'Ajoie correspond ainsi principalement à l'association forestière (unité dominante potentielle) de la hêtraie (Burnand et al., 1998). Dans cette région, l'épicéa, que l'on rencontre souvent associé au hêtre, est généralement introduit par l'homme (OFEFP, 1999).

Le climat ajoulot

L'Ajoie est une région modérément sèche, arrosée par des pluies réparties sur toute l'année (Burnand et al., 1998), avec une moyenne calculée de 900 mm/an (station de Fahy-Boncourt: 1085 mm/an; Atlas de la Suisse). La région est située à la limite sud-ouest du fossé rhénan, région au climat particulièrement sec (précipitations faibles de moins de 600 mm/an). Par contre, elle côtoie deux secteurs particulièrement pluvieux: celui de l'Arc jurassien plissé et celui des Vosges, qui reçoivent des précipitations entre 1200 et 2600 mm/an (Chaib 1997). Le niveau thermique est défini comme étant assez doux à assez frais, de type tempéré, avec des températures moyennes annuelles (tma) entre 7,5°C et 9°C. Par comparaison, des tma de 12,4°C pour Lugano et 8,6°C pour Saint-Gall ont été relevées par l'OFS (1998). Actuellement, les précipitations proviennent des masses d'air atlantiques déplacées par les vents dominants du sud-ouest. Par contre les vents issus du nord-est sont nettement plus secs et frais.

La géologie ajouloise

Le Jura tabulaire ajoulot (partie centrale et occidentale) est un massif calcaire relativement peu plissé (il n'existe que quelques axes anticinaux situés dans la partie méridionale et orientale de l'Ajoie), mais fortement fissuré (réseau dense de failles subverticales). Ce territoire (Fig. 5) est inséré entre le Jura plissé au sud, les dépôts tertiaires de l'ancien golfe de Montbéliard au nord-ouest ainsi que ceux de l'ancien golfe du Sundgau à l'est (Chauve et al., 1985). La base rocheuse, sur laquelle reposent les sols du centre et de l'ouest de l'Ajoie, est composée de couches du Jurassique supérieur (Malm), alternant bancs calcaires et marneux qui présentent généralement une faible inclinaison (pendage modéré des couches géologiques). Du point de vue structural, la partie centrale et occidentale de l'Ajoie est dominée par une morphologie karstique illustrée par de nombreuses dolines et un réseau de vallées sèches calqué sur les fractures qui affectent ce territoire (Braillard, 2005).

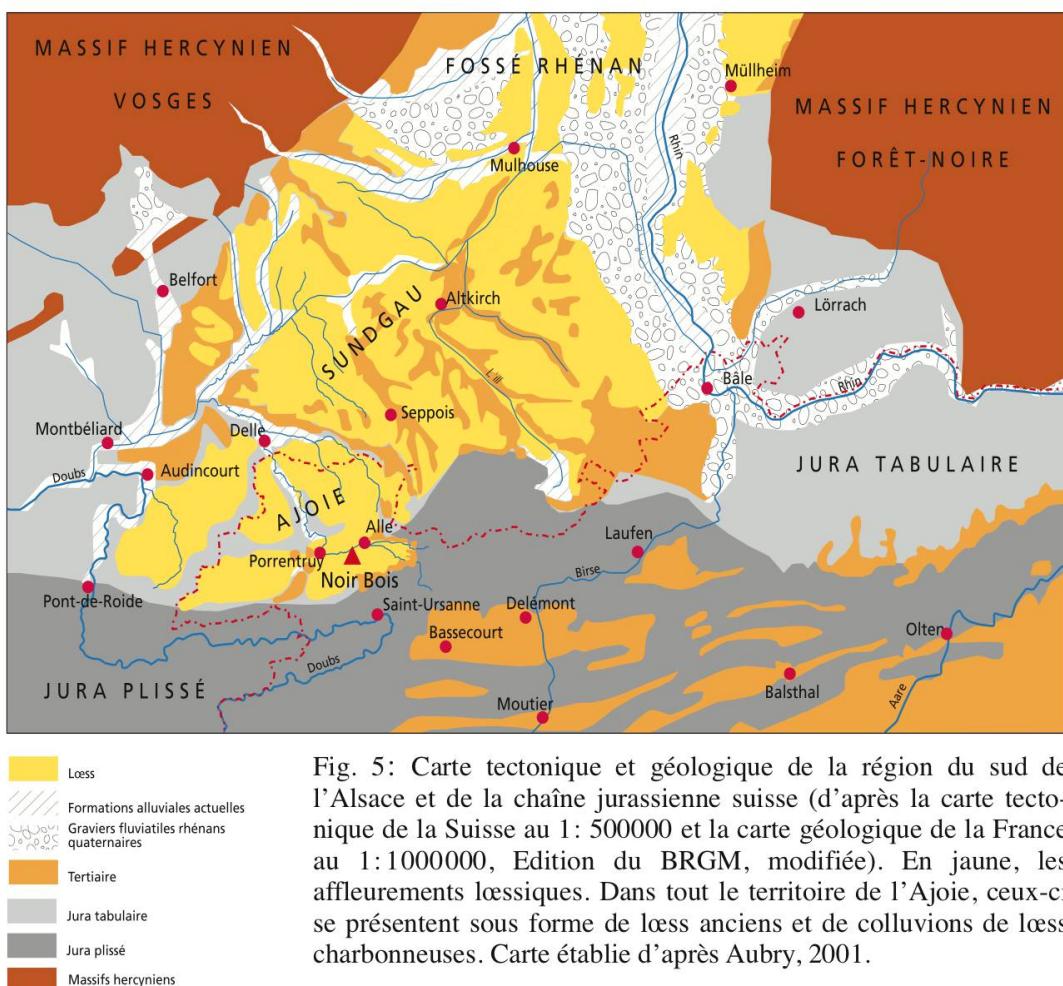


Fig. 5: Carte tectonique et géologique de la région du sud de l'Alsace et de la chaîne jurassienne suisse (d'après la carte tectonique de la Suisse au 1: 500000 et la carte géologique de la France au 1:1000000, Edition du BRGM, modifiée). En jaune, les affleurements lœssiques. Dans tout le territoire de l'Ajoie, ceux-ci se présentent sous forme de lœss anciens et de colluvions de lœss charbonneuses. Carte établie d'après Aubry, 2001.

En Ajoie, l'apport éolien est un facteur essentiel associé au développement des sols

Dans la plupart des sondages archéologiques associés au tracé de l'A16 qui ont été réalisés (plusieurs milliers), nous avons rencontré un sédiment de couverture particulier, le loess silicifié, disposé en couches plus ou moins épaisses, généralement sur la roche calcaire, mais aussi sur la marne altérée, les alluvions anciennes, voire les cailloutis de pente géli-flués (déplacés par le gel au Glaciaire).



Fig. 6: Exemple de sol forestier très peu épais, développé sur cailloutis démantelé du Kimméridgien supérieur (zone faillée), à Combe Ronde, commune de Chevenez. Même dans une telle situation, l'apport éolien est présent dans la matrice du sédiment de surface (10 derniers cm) et infiltré dans le cailloutis. Photo D. Aubry.

Même dans les sols très peu épais de moins de 5 cm que nous avons étudiés sous couvert forestier (disposés sur un cailloutis calcaire par exemple, fig. 6), la matrice s'est révélée être constituée en grande partie de particules loessiques.

Le loess: une définition

Le loess ajoulot est constitué majoritairement (pour plus de 90% du sédiment) de particules fines de diamètre entre moins de 2 microns à 6 microns (0,002 et 0,006 mm) et de particules silteuses de diamètre entre 6 et 63 microns (0,006 et 0,063 mm). Les particules sont constituées de grains de quartz, de micas et de minéraux argileux, de silicates, d'oxydes et d'hydroxydes de fer et de manganèse, et nettement plus rarement de carbonates (Adatte, 2000). Elles ont été importées par les vents en provenance de l'Alsace, notamment de la plaine rhénane qui ont soufflé aux périodes glaciaires surtout au Pléniglaciaire supérieur («Würm récent») entre 28000 et 15000 BP (pour Before Present, soit avant 1950). Par leur caractère à dominante siliceuse, elles ont constitué des sols véritablement importés, donc allochtones, qui sont déconnectés chimiquement du substratum rocheux carbonaté jurassique.

Ces sols «étrangers» ont pu se développer, évoluer et s'altérer depuis fort longtemps, avant et pendant le Pléniglaciaire («Würm») puis durant l'Holocène. Cette longue évolution pédologique a été rendue possible,

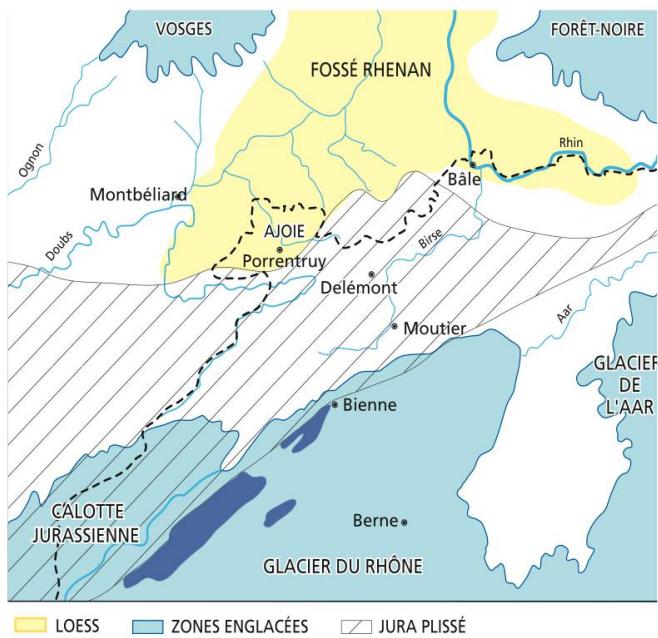


Fig. 7: Au cours du dernier maximum glaciaire (il y a environ 22000 ans), l'Ajoie est restée libre de glaces. C'est pourquoi nous parlons de domaine périglaciaire pour le développement des sols. Sur la carte on constate également que l'Ajoie constitue la terminaison sud du domaine loessique rhénan. Infographie L. Petignat Häni, d'après Aubry et al., 2005.

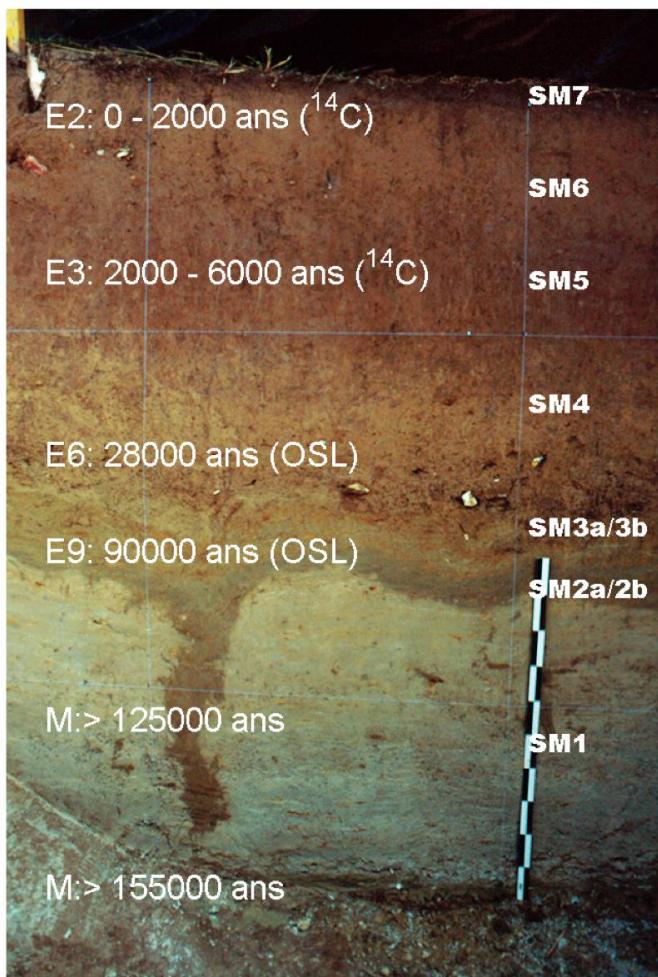


Fig. 8: Sur la coupe 3 ci-contre observée au lieu-dit «Grands Combes», commune de Boncourt, on constate des différences importantes d'âge entre des dépôts sédimentaires apparemment proches du point de vue texture. Précisons que les horizons ont été datés soit par OSL («Optically Stimulated by Light») directement sur la coupe 3 pour les ensembles M, E6 et E9, soit par C^{14} , sur d'autres profils du site pour les ensembles E2 et E3. Hauteur de la réglette: 1 mètre. Photo OCC/SAP, infographie L. Petignat Häni.

nous l'avons vu plus haut, par le fait que notre région n'a pas été recouverte de glace durant le «Würm»: aucune moraine n'a été décelée dans le canton du Jura. Cette situation est à opposer à celle du Plateau suisse, de la partie ouest de l'Arc jurassien, voire des régions vosgiennes et de la Forêt Noire (fig. 7) où les sols ont été érodés puis comprimés durant l'englacement qui est survenu pendant le LGM (abrégé de «Last Glacial Maximum») survenu durant le Pléniglaciaire supérieur («Würm supérieur»). Ces territoires présentent ainsi des sols dont l'évolution ne s'est amorcée «que» depuis environ 15000 ans. Ils sont donc «plus jeunes» au sens de la durée et du degré d'altération que ceux du domaine périglaciaire jurassien. Comme exemple relatif à ce dernier contexte, nous présentons une coupe de terrain en Ajoie, sur laquelle la datation de certains dépôts par C^{14} (carbone 14), puis par OSL (luminescence), a révélé des âges de dépôts sédimentaires oscillant entre 28000 ans et plus de 90000 ans (fig. 8).

Dans le tableau ci-dessous (fig. 9) sont présentés les résultats des analyses sédimentologiques réalisées sur les sédiments (SM7 à SM1) désignés dans la coupe 3 (fig. 8). L'échantillon SM7 représente l'horizon L (sous prairie) actuel. Son pH neutre est une conséquence directe de l'application des amendements.

Echantillon/ Ensembles		Fines %	Silts %	Sables %	Grav. %	CaCO3 %	Mat. Org. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
Sm7 faciès	E1	-	-	-	-	0	7	1	0,8	6,9
Sm6 faciès	E2	-	-	-	-	0	4	0.8	0.05	6.7
Sm5 faciès	E3	25	66	9	0	0	4	0.5	0.025	6.3
Sm4 faciès	E6	29	58	13	0	0	4.5	0.4	0	6.6
Sm3a faciès	E9	38	56	6	0	0	4.5	0.4	0	6.9
Sm3b faciès	E9	36	58	6	0	0	4.5	0.5	0	7.1
Sm2a faciès	E9	37	57	6	0	1	4	0.6	0	7.2
Sm2b faciès	M	58	41	1	0	45	1.5	1.9	0	7.4
Sm1 faciès	M	58	39,5	2,5	0	62	0.5	0.8	0	7.6

Fig. 9: Résultats des analyses granulométrique et géochimique effectuées sur les sédiments de la coupe 3. Les ensembles E apparaissant dans la première colonne du tableau ont été définis sur le terrain, sur le site au lieu-dit «Noir Bois», commune d'Alle (Aubry et al., 2000). A ce sujet on peut consulter également l'article paru dans les Actes SJE 2005 (Guélat, 2005).

Les caractéristiques physiques des sédiments loessiques en Ajoie

Dans notre région, les dépôts loessiques se présentent souvent sous forme de sédiments homogènes, cohésifs, de couleur généralement brun-

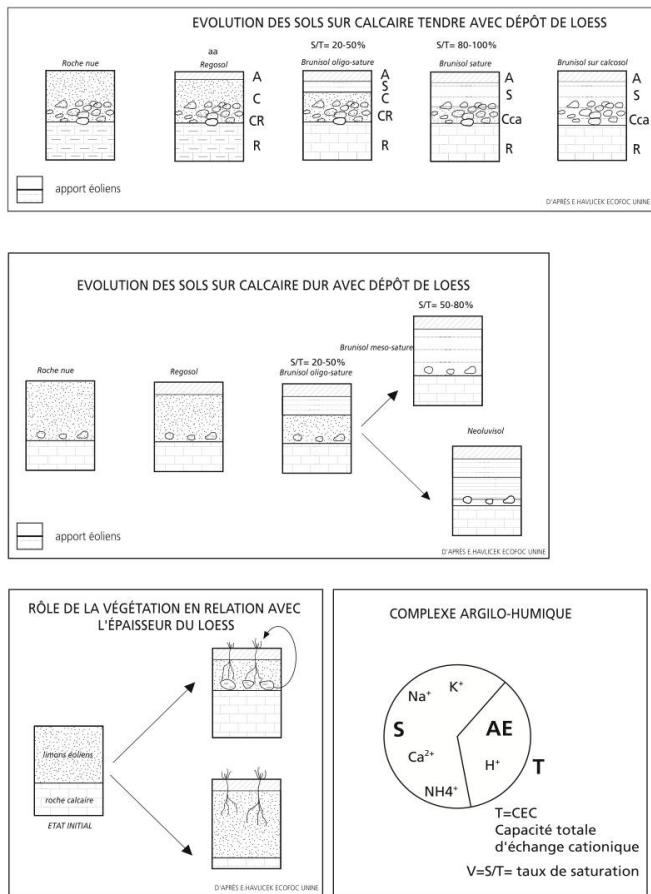


Fig. 10: Evolution des sols loessiques sur roche carbonatée. Les schémas illustrés ici sont en principe relatifs aux sols de la chaîne du Jura avec apports éoliens. Ils correspondent donc à des sols dits «jeunes», c'est-à-dire principalement post-glaciaires (moins de 12000 ans), car ils ont subi l'engagement au Pléniglaciaire («Würm») il y a environ 22000 ans. D'après Havlicek, 1999. Infographie L. Petignat Häni

Absence de calcaire actif dans les sols

Dans la grande majorité des sols forestiers et agricoles recoupés par les sondages de prospection, le sédiment loessique n'a pas réagi au test de l'HCL (abrégué d'acide chlorhydrique). Ceci signifie une absence de calcaire actif (carbonates de la taille des silts et sables fins) dans le sédiment. Cette caractéristique explique par exemple le pH acide des sols forestiers non amendés. Cependant il faut d'emblée préciser que, lorsque l'on évoque l'absence de calcaire actif, nous ne parlons pas des ions Ca^{++} (calcium) qui sont extraits du substratum calcaire par les racines des arbres, restitués ensuite au sol par le biais du bois mort et qui se retrouvent dans le complexe argilo-humique. Cette absence de carbonates de la taille des silts ou des sables peut avoir pour origine:

jaune (10YR 5/6*) pour les lœss anciens et brune (10YR 4/4*) pour les colluvions agricoles (*Code de Munsell, Masatada et Takehara, 1967). La matrice du sédiment de texture silteuse contient généralement entre 12 et 40% d'argiles. La valeur de la porosité qui varie entre 5 et 15% est faible à moyenne selon la norme AFNOR-ISO 92 (Baize et Jabiol, 1995). Les sédiments lœssiques ont donc une tendance à être peu perméables, le drainage interne étant plutôt limité, ce qui les expose aux oxydations de fer. Le lœss ajoulot contient entre 2,5 et 4% de fer (G. Vadi, 1998) et c'est cet élément qui, associé aux minéraux argileux et parfois à la matière organique, donne la teinte brun-jaune ou brune aux sédiments.

- a) peu de carbonates dans le lœss importé depuis la plaine alsacienne,
- b) une décarbonatation ancienne (altérites de lœss),
- c) une décarbonatation amorcée dès la fin du Pléistocène (au Tardiglaciaire ou «Würm final») en raison de l'amélioration climatique,
- d) une acidification consécutive aux défrichements dès le Néolithique (suppression de l'apport en calcium de la litière forestière et perte du sol en argiles et en matière organique).

Neutralisation des sols lœssiques acides amendés

Dans les sols agricoles, bien qu'il n'y ait pas de calcaire fin actif mesurable (absence de réaction à l'HCL sur le terrain) et bien que les minéraux siliceux dominent, le pH mesuré est souvent proche de la neutralité. Ces valeurs modérées du pH sont la conséquence des amendements agricoles appliqués sur le sol depuis fort longtemps: celui-ci se trouve ainsi «sous perfusion» (fig. 23).

Similitudes et contrastes entre deux sols lœssiques

Le profil du «Neu Bois», commune de Boncourt, canton du Jura

Nous avons dit plus haut que les sols de notre région sont généralement peu épais. Or, si le profil sous couvert forestier défriché pour les besoins des travaux A16 présenté ici fait plus de 7 m d'épaisseur, c'est qu'il appartient à la catégorie des sols de dolines qui sont considérés comme une «anomalie des sols du karst» par Bruckert et Gaiffe (1985).

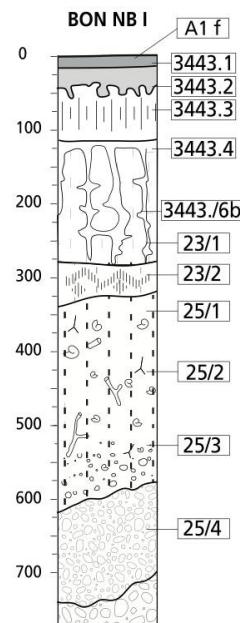


Fig. 11: Le profil de sol BON NB I où ont été récoltés les échantillons OL à 25/4 est profond de plus de 7 mètres (photo à gauche). Il illustre le remplissage de la doline du «Neu Bois», commune de Boncourt (Jura tabulaire) après

Echantillon	Argiles %<6µm	Sables (%)	Graviers (%)	Carbonates (%)	Phosph. [PO4]2-	Humus [uc]	pH [KCl]	M.O[%] (600°C)	Corg [%]	C/N
OL	-	-	-	-	-	-	-	51,26	13,67	12,84
OF	-	-	-	-	-	-	-	15,92	6,72	15,20
A1 f.	19,2	2,7	~ 0	0	< 0,4	0,35	4,0	7,52	3,00	11,55
3443/ 1	18,7	6,3	0,2	0	< 0,4	0,2	4,0	5,94	3,04	17,14
3443/ 2	30,7	4	0,1	0	< 0,4	0,025	4,1	2,47	0,61	10,54
3443/ 3	31,4	9,6	0,6	0	< 0,4	0,01	4,6	2,58	0,32	6,96
3443/ 4	25,5	5,7	0	0	0,9	0	4,4	1,60	0,23	7,46
3443/6b	16,4	3,6	0	0	2,8	0	4,5	1,56	0,29	10,22
23/ 1	22	4,5	0	0	1,1	0	4,7	1,75	0,20	6,19
23/ 2	19,7	1,2	0	0	2,5	0	4,7	1,37	0,22	7,03
24/ 2	-	-	-	-	-	-	-	1,59	0,40	8,78
25/ 1	13,6	0,5	0	23	3,9	0	7,9	1,26	0,35	9,96
25/ 2	12,7	2,7	0	16	4,3	0,025	7,9	1,71	0,72	10,46
25/ 3	18,5	2,4	0	6	3,1	0,05	7,6	2,00	0,76	10,58
25/ 4	21,7	11,4	20,8	1	1,3	0	7,3	2,63	1,02	10,63

défrichements A16. Hauteur du jalon sur la photo: env. 5 mètres. Photo D. Aubry. Infographie L. Petignat Häni.

Cependant «anomalie» ne veut pas dire rareté car, d'après nos estimations, le territoire tabulaire karstique de l'Ajoie recèle entre 8000 et 16000 dolines. Il est clair que la surface de ce type de sols est limitée dans l'espace par les dimensions des dolines elles-mêmes. Lorsque l'on consulte le tableau de la figure 12, on constate: une absence de calcaire fin sur 3,5 m d'épaisseur (0% de carbonates), un niveau A1f (humus forestier) mince (5 cm) et une teneur faible en sables (4,5% en moyenne) mais élevée en argiles (20 à 30%). La forte teneur en argiles rend le sédiment très compact et donc résistant du point de vue mécanique. La croissance du pourcentage d'argiles dans les horizons 3443/2 à 3443/4 peut être attribuée, en partie du moins, à la formation d'un niveau illuvial BT (accumulation d'argiles) qui s'est constitué durant le Tardiglaciaire et l'Holocène. Dans la littérature, les sols de dolines sont décrits comme étant jeunes, soumis à un lessivage intense et dépourvus de matériaux anciens, car soutirés vers les profondeurs karstiques (Bruckert et Gaiffe, 1985). On constate tout de suite que notre profil ne répond pas à cette définition et que sa partie supérieure est décarbonatée et argileuse (éch. 3443/2 et 3443/3 = présence d'un BT). En ce sens, il est très représentatif des sols loessiques ajoulots, bien qu'il soit épais dans ce cas particulier.

Le profil de Sierentz, département du Haut-Rhin

En Alsace, un profil réalisé dans les loess carbonatés épais bordant le fossé rhénan (commune de Sierentz, département du Haut-Rhin, à 10 km

au nord-est de Bâle), a montré une forte teneur en calcaire actif (forme fine facilement soluble dans l'eau chargée de CO_2) sur 5 m d'épaisseur (fig. 13 et 14), un niveau A1 (éch. SIZ 9 – SIZ 6, fig. 13) épais de plus de 40 cm, aéré (mull carbonaté?), et une plus forte teneur en sables qu'à Boncourt. La teneur en argiles est également plus faible, ce qui rend le sédiment moins compact, friable, moins résistant du point de vue mécanique lors des labours. La décroissance du rapport C/N (carbone/azote) avec la profondeur (Fig. 14) indique une dégradation de la matière organique et donc un sol non podzolique. Pour conclure, même si le lœss alsacien nous paraît favorable à l'agriculture, il n'apparaît pas spécialement riche en humus (matière organique fine) et en carbone organique, ni en matière organique; par contre, son horizon A est

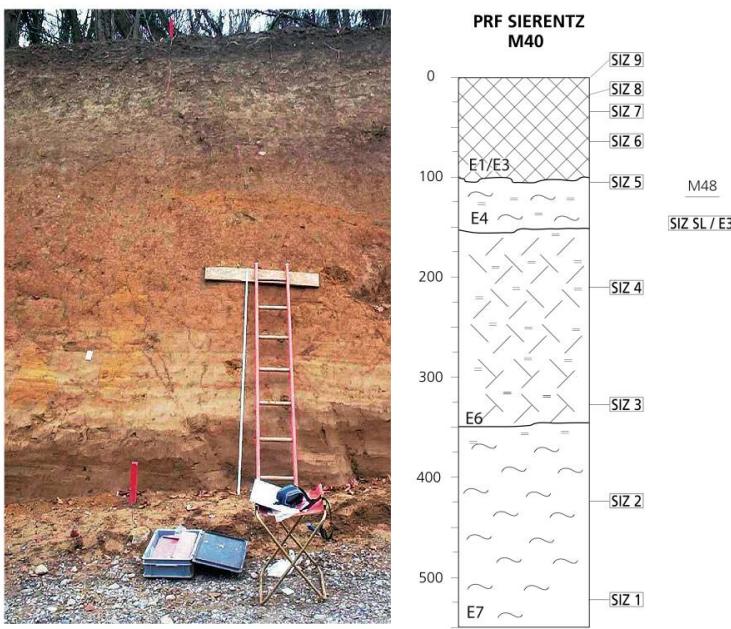


Fig. 12: Résultats des analyses sédimentologiques effectuées sur le profil de référence de Boncourt, le Neu Bois.

Fig. 13: Profil PRF Sierentz, mètre 40, situé à 10 km au nord-est de Bâle, sur le flanc de la basse terrasse lœssique rhénane. Le lœss alsacien est profond, un peu sableux, friable, facile à travailler, à la différence du lœss ajoulot, plus compact et argileux. Hauteur totale de la coupe: environ 5 m. Photo D. Aubry. Infographie L. Petitnat Häni.

Fig. 14: Résultats des analyses sédimentologiques ef-

Echantillon	Argiles %<6 μm	Sables (%)	Graviers (%)	Carbonates (%)	Phosph. [PO ₄] ₂₋	Humus [uc]	pH [KCl]	M.O[%] (600°C)	Corg [%]	C/N
SIZ 9	9.4	19.1	2.6	19	5	0.7	7.4	10.04	3.16	7.29
SIZ 8	14.6	13	1.3	23	4.7	0.2	7.6	3.91	1.46	8.59
SIZ 7	13.1	10.7	2.1	20	4.5	0.2	7.6	4.07	1.47	8.25
SIZ 6	12.5	9.5	1.4	24	3.6	0.075	7.7	3.17	1.20	7.80
SIZ 5	16.6	7.4	0.4	26	4.7	0.025	7.8	1.99	0.59	7.71
SIZ 4	15.7	7.5	0.1	20	3.1	0.01	7.8	1.51	0.31	7.46
SIZ S.L.	28.3	8.4	0.2	2 – 5	1.1	0.01	7.5	1.88	0.24	5.76
SIZ 3	20.6	10.2	0.1	~ 5	0.6	0	7.3	1.87	0.14	4.55
SIZ 2	21.5	10.2	0	~ 2	1.5	0	6.8	2.09	0.11	3.38
SIZ 1	21.5	9.5	0	~ 0	2.1	0	6.4	1.65	0.09	4.57

profond et carbonaté. A ce sujet, il faut rappeler que la réputation de fertilité d'une terre vient moins des rendements que l'on y obtient que du fait que ces rendements peuvent être obtenus sans engrais. Les anciens agriculteurs au Néolithique n'avaient justement de loin pas les moyens actuels d'amendements. Comme exemple le plus parlant, on peut évoquer les lœss carbonatés, assez organiques, avec un horizon A profond (plus de 1 m), situés sous un climat peu lessivant comme les fameuses «terres noires» d'Ukraine (chernozems) qui permettent des rendements élevés même sans engrais.

	BON NB (JU)	SIERENTZ (F)
Epaisseur (cm)	4	70
Argiles (%)	19,5	12.4
Sables (%)	4.5	13
Graviers (%)	0.1	1.8
Carbonates (%)	0	21.5
Phosphates (u.c)	<0.4	4.45
Humus (u.c)	0.27	0.3
pH _{KCL}	4.0	7.6
Mat. Org - 600°C (%)	6.7	5.3
C org (carbone org.)	3.0	1.82
C/N (carbone/azote)	14.4	8

fectuées sur le profil de référence du site de Sierentz (bordure de la plaine alsacienne, département du Haut-Rhin).

Du sol forestier au sol agricole: la «néolithisation» en Ajoie

Les sols en Ajoie ont généralement été, et le sont encore actuellement, fortement marqués par les défrichements et les pratiques agricoles qui se sont développés depuis le Néolithique. C'est une période que l'on appelait autrefois «Age de la pierre polie», où ont été fabriqués des outils en pierre, notamment les haches polies qui ont permis de pratiquer plus efficacement les défrichements. En Ajoie, on en trouve effectivement souvent, disséminées dans les horizons archéologiques. Dans cette région, les premières traces de défrichements ont été datées à environ 3900 avant J.-C., c'est-à-dire au début du IV^e millénaire (Othenin-Girard et al., 2003). C'est du reste au cours de ce millénaire que la plus grande partie des espaces vierges de l'Europe subit des modifications irréversibles (Jeunesse, 1993). Par contre, en Alsace toute proche, l'installation des premiers agriculteurs de la civilisation du Rubané sur les terres lœssiques s'est généralisée dès la fin du VI^e millénaire (5000 av. J.-C.), soit environ 1000 ans plus tôt. Cependant, il faut préciser que l'époque de la première colonisation des terres en Ajoie, bien qu'elle soit tardive par rapport à celle de la plaine alsacienne, reste précoce par rapport aux

premiers impacts de l'agriculture dans les vallées de la Birse et de la Sorne, qui sont datés de l'Age du Bronze, vers 2000 avant J.-C. (Bruckert, 2003; Guélat, 2005).

Pourquoi un tel décalage ?

Outre le climat et l'altitude, les qualités chimiques et physiques des sols d'un territoire donné peuvent retarder, ou au contraire favoriser, la progression et la fixation des premiers agriculteurs sur celui-ci. Nous avons vu plus haut que, si l'on consulte les données chiffrées relatives à un sol ajoulot et un sol alsacien (fig. 12 et 14), on constate que le lœss alsacien est sableux, peu argileux, riche en carbonates sous forme de calcaire fin, alors que le lœss jurassien est plus argileux, donc plus compact et totalement décarbonaté sur plus de 3 m. Ce dernier est donc potentiellement moins fertile sans amendements et surtout moins facilement «travaillable». Par comparaison, les sédiments de la vallée de la Birse et de la Sorne, et particulièrement ceux du bassin de Delémont, sont issus en partie de l'érosion de terrains tertiaires riches en minéraux argileux particulièrement sensibles à l'eau, les smectites, nommés à juste titre «argiles gonflantes», qui donnent des terres grasses et lourdes. Or, nous avons vu plus haut que c'est dans cette région que la fixation des premiers agriculteurs, à l'âge du Bronze vers 2000 avant J.-C. (Guélat, 2005), est la plus tardive des trois territoires évoqués. Après une nouvelle étape de la colonisation du Jura à l'Age du Fer, l'agriculture voit une forte extension au temps des Gallo-romains, suivie d'un déclin au Haut Moyen Age (fig. 16). Dès l'Époque médiévale par contre, la colonisation du territoire jurassien se fait dans son ensemble et s'étend jusqu'aux étages montagnards moyen et supérieur (Bruckert, 2003).

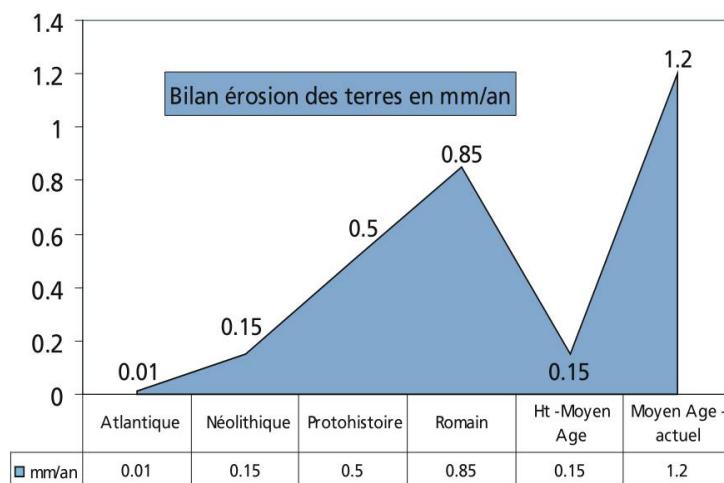


Fig. 15: Tableau comparatif (moyennes) des données géochimiques relevées sur l'horizon organo-minéral A1f (fo-restier) à Boncourt et à Sierentz.

Fig. 16: Evolution de l'impact de l'homme sur les sols par le biais des défrichements et de l'exploitation agricole. Bilan des taux d'accumulation sédimentaire en pied de versant ou dans les thalwegs. Les valeurs proposées représentent

Le graphique de la figure 16 illustre le bilan des variations observées et mesurées dans des «strates colluvierées» en Ajoie (qui ont été datées directement par C¹⁴ ou indirectement par leur contenu archéologique), en situation de pied de versant ou dans les thalwegs comblés, sur plusieurs sites archéologiques (Aubry, 2001). Les données montrent une évolution par palier, signifiant du même coup une gradation dans la fixation des hommes sur notre territoire. Les paliers présentés dans la figure 16 concordent assez bien avec la situation du domaine lœssique du Bassin rhénan, où il a été relevé quatre paliers de colluvionnement: un palier de faible amplitude au Néolithique ancien et un peu plus prononcé au Néolithique final, un palier plus fort pour la période recouvrant l'âge du Fer et la période romaine et un saut marqué pour la période médiévale (Lang et al., 2000).

Comment peut-on reconnaître l'impact des défrichements dans les sols?

Dans bien des coupes stratigraphiques que nous avons relevées, les impacts physique et chimique sur le système écologique «sol», dus aux activités agricoles de l'homme, sont directement lisibles par l'apparition d'un horizon fortement perturbé par la faune (fouisseurs), surmonté d'un dépôt de silts ruisselés, charbonneux, de teinte 10YR 4/6 (bruns). Reposant sur une couche lœssique naturelle plus ou moins érodée de teinte 10YR 5/6 (brun-jaune), ces colluvions «agricoles» (fig. 17, 24, 26 et 27) ont été générées par les défrichements et les pratiques agricoles qui se sont développés sur les terrains en amont.



tent une moyenne des épaisseurs de colluvions agricoles datées et mesurées sur plusieurs sites archéologiques de l'Ajoie. Aubry, 2001.

Fig. 17: Exemple d'une coupe de terrain au lieu-dit «Montbion», commune de Bure. On remarque le contact entre des colluvions charbonneuses anthropogènes en brun (I) et la couche lœssique ancienne en brun-jaune (II). Le contact est souligné par un liseré brun foncé qui matérialise l'ancien «sol holocène», enfoui sous les colluvions. On observe également un négatif de racine

Actuellement de nombreux sols ajoutots, qu'ils soient sous forêt ou sous agriculture, se développent sur de tels terrains «anthropogènes» (littéralement «produits par l'homme»).

La fertilité naturelle ou fécondité d'un sol non cultivé

Les premiers agriculteurs ont été confrontés au potentiel biochimique et physique des sols lœssiques sous couvert forestier holocène, qui fonctionnaient comme un système écologique stable, pas obligatoirement fertile au sens du rendement de l'agriculture moderne, mais présentant l'avantage d'être en équilibre, c'est-à-dire autosuffisant («nourrir et être nourri naturellement»).

Dans un sol, plusieurs paramètres sont à prendre en compte pour établir un tel bilan de la fertilité potentielle ou «naturelle» (fig. 18), notion à ne pas confondre avec celle de la fertilité dite «acquise», qui est générée et maintenue artificiellement par les apports minéralogiques ou chimiques appliqués au sol par l'homme.

Paramètres physiques	Granulométrie, structure (compaction), porosité, mouvements texturaux observés dans les sédiments (illuviation, éluviation), etc.
Paramètres minéralogiques	Teneur en quartz, en silicates, en carbonates de calcium, en oxydes et hydroxydes de fer etc.
Paramètres chimiques	Chimie des phyllosilicates (micas, argiles), nature des silicates (réserve en cations), etc.
Paramètres environnementaux	Evapotranspiration (ETP) de la couverture végétale comparée aux précipitations atmosphériques (PP), altitude, climat, biologie du sol, etc.

Une des conséquences des défrichements a été et reste la forte décroissance de la «fertilité naturelle» ou «fécondité» du sol.

Lorsqu'ils ont dénudé le couvert sous climat lessivant (en abrégé ETP < PP pour évapotranspiration < précipitations), les premiers agriculteurs ont été confrontés à l'acidification des sols par perte des matières organiques et d'argile ainsi qu'à leur tendance à l'engorgement hydrique, c'est-à-dire à une baisse notable de la fertilité naturelle. Par exemple, dès cet instant, la végétation disparue ne pouvait plus jouer son rôle de stabilisation face à la tendance du sol à perdre son calcium par décarbonatation, puis par décalcification (lixiviation). Pour compenser cette perte, l'homme a dû progressivement introduire les amendements, tels que l'essartage, le chaulage et le marnage («nourrir la terre par la terre» des Anciens), l'adjonction de compost et de fumiers, puis finalement de fertilisants chimiques, afin de maintenir le sol sous perfusion. Les premiers agriculteurs n'avaient pas de tels moyens; ils ont été confrontés de plus

à la compacité des terres, assez élevée en Ajoie, et qui présentaient une résistance face à leurs techniques aratoires peu développées. Rappelons ici que la compacité du sol découle directement de son «histoire sédimentaire». Elle est tributaire de facteurs tels que: a) le gel. Le climat très rigoureux qu'ont subi les sols durant le Pléniglaciaire ou «Würm» supérieur a provoqué la formation d'un horizon compact (fig. 29) appelé parfois «fragipan»; b) la présence d'altérites de lœss anciens, très argileux et compacts (les «terra fusca» ou «lehms d'altération»); c) la formation de l'horizon argileux BT au sommet des sols, et d) la quantité de particules fines éoliennes (argiles, limons fins) déposées *in situ* par les vents avec les autres minéraux.

Les défrichements et l'érosion des sols

Les défrichements ont conduit et conduisent toujours actuellement à l'érosion des sols même si la pente est faible. En Ajoie, les sols lœssiques, qui se trouvaient sous une couverture forestière quasi continue depuis le Tardiglaciaire, ont été fragilisés dès les premières mises en culture. Il s'agit du décapage des horizons OL (horizon constitué de débris foliaires et ligneux), puis OF (horizon végétal fragmenté mélangé à de la matière organique). La fertilité naturelle a décru, nous l'avons vu plus haut. Il en est résulté une fragilisation structurale marquée des sols lœssiques face à l'érosion pluviale (qui sont par définition sensibles à l'érosion par leur nature granulométrique). Ce mécanisme a grandement favorisé l'amorce, puis le développement progressif en intensité de l'érosion des sols.

Actuellement, nous devons malheureusement constater que le canton du Jura n'est toujours pas épargné par l'érosion des terres agricoles et son district septentrional, l'Ajoie, se singularise par un des taux d'érosion les plus élevés de Suisse (Mosimann, 1996). L'observation de terres agricoles lœssiques, pendant les fortes pluies qui régnaien lors de l'excursion du cercle scientifique de la SJE le 1^{er} octobre 2005, a permis d'entrevoir le problème par les forts ravinements constatés, ceci même sur des pentes peu importantes.

La formule de Wischmeier et Smith (Wang et al., 2001) essaie d'évaluer la quantité de particules arrachées par l'érosion, en tonne par hectare par an (t/ha/an). Elle réunit plusieurs facteurs intervenant dans l'évaluation des taux d'érosion. Dans le libellé de la formule, USLE signifie «Universal Soil Loss Equation» (équation universelle de perte des sols).

Concernant cette équation, une remarque doit être faite: si l'on veut estimer l'érosion des sols dans le passé, aux périodes archéologiques par exemple, on peut éventuellement donner (avec toutes les réserves que comporte une telle estimation) une valeur aux facteurs K, S, L et R

(évaluation de l'humidité des périodes archéologiques, âges du Bronze et du Fer par exemple). Par contre les facteurs C et P sont évidemment vraiment difficilement maîtrisables.

	USLE $A \text{ [t/ha/an]} = R \times K \times S \times L \times C \times P$
A	<i>Pertes de sol</i> exprimées en tonnes par ha par an
R	<i>Facteur climatique</i> : Energie de la pluie. Echelle locale 1 à 7
K*	<i>Sensibilité du sol à l'érosion</i> en fonction de la granulométrie, de la structure, de la teneur en m.o. [%] et de la perméabilité. 5 classes (K de 0,05 à 0,6)
S et L	<i>Facteurs topographiques</i> (inclinaison et longueur de la pente). Abaque permettant de calculer un facteur topographique entre 0,1 et 20
C	<i>Utilisation du sol et mode de culture</i> (facteur délicat à traiter en archéologie par manque de données). Le facteur peut être modérateur ou accélérateur
P	<i>Mesures de protection contre l'érosion</i> (facteur également délicat à traiter dans le cas des environnements agricoles anciens)

(flèche III) témoin de la forêt holocène qui se développait avant l'occupation agricole. Hauteur de la réglette 1m.
Photo OCC/SAP

Erosion et données chiffrées

Les données relevées dans la littérature concernant l'atteinte physique des sols sont exprimées en t/ha/an de terres déplacées ou en millimètres par année (mm/an) d'érosion (fig. 19). Dans la littérature toujours, les valeurs archéologiques concernant les bilans d'érosion des terres oscillent dans une fourchette allant de 0,4 à 10 t/ha/an pour les périodes protohistoriques (âges du Bronze et du Fer). Les valeurs modernes données oscillent entre 6 à 11 t/ha/an en moyenne, mais elles peuvent monter jusqu'à 90 t/ha voir 500 t/ha pour des événements catastrophiques.

Taux de formation d'un sol

On estime que le taux de reconstitution d'un sol sous conditions naturelles oscille entre 0,2 et 1 [t/ha/an] selon certaines sources (OFS 1996; Pancza, 1997). En comparant ce chiffre à ceux relatifs à l'érosion des sols, on comprend la gravité du problème et on peut même se demander si certains de ceux-ci ne seront pas irrémédiablement perdus à long terme.

Quelques données géochimiques comparatives sur des sols forestiers et agricoles en Ajoie

Nous abordons ici, par le biais de quelques analyses de sols, une discussion sur la variation du pH des horizons A, E et E/S (Baize et

Girard, 1995) de sols loessiques siliceux par rapport au substratum calcaire selon qu'ils sont placés en milieu naturel (sous forêt) ou anthropique (sous culture). L'acidité constatée pour les premiers illustre une nouvelle fois la tendance des loess à être déconnectés chimiquement de leur substratum rocheux calcaire. Outre une claire décarbonatation des horizons sous forêt et sous agriculture, le pH (pH KCL) bas, entre 3,5 et 4 des horizons sous couvert forestier, peut également indiquer une décalcification des sols, c'est-à-dire une perte en ions calcium des agrégats argilo-humiques ainsi qu'une oligotrophie (pauvreté en substance nutritive) du milieu.

Les profils forestiers

Commune de Boncourt. Profil sous hêtraie et résineux, sur loess peu épais.

Profil forestier 1	Carbonates %	Mat. org. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
S2 hor. A	0	20	2.3	1.6	6.9
S3 hor. A	0	11	0.8	0.7	6.5
S4 hor. E	0	9	< 0.4	0.4	3.5
S5 hor. E/S	0	8	< 0.4	0.25	3.5

Commune de Boncourt. Profil sous hêtraie et résineux, sur loess peu épais.

Profil forestier 2	Carbonates%	Mat. org.. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
S2 hor. A/E	0	12.5	0.8	1.0	5.3
S3 hor. E	0	8.5	< 0.4	0.8	4.3
S4 hor. E/S	0	6	< 0.4	0.2	4.0

Commune de Bure. Profil sous résineux, sur loess peu épais.

Profil forestier 2	Carbonates%	Mat.org. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
S2 hor. A/E	0	11	0.8	0.8	4.2
S3 hor. E/S	0	8.5	0.4	0.45	4.1

Commune de Boncourt. Profil sous hêtraie et résineux, sur loess épais.

Profil forestier 3	Carbonates%	Mat. org.. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
S1 hor. A	0	15	1	1.7	6.1
S2 hor. E/S	0	11.5	0.5	0.6	4

Commune de Boncourt. Profil sous hêtraie et résineux.

Profil forestier 4	Carbonates%	Mat. Org. %	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
S1 hor. A/E	0	8	< 0.4	0.3	4.5
S2 hor. E/S	0	5	< 0.4	0.04	3.8
S3 hor. C	69	0.5	0.6	0.025	7.6

Fig. 18: Paramètres associés au bilan de fertilité naturelle d'un sol.

Fig. 19: La formule de Wischmeier et Smith et ses paramètres.* On remarque que le paramètre K est directement fonction de la qualité des différents types de sols qui est définie autant par la biologie que par la minéralogie.

Commentaires et précisions concernant les tableaux de la figure 20



Fig. 20: Tableaux résumant les résultats géochimiques réalisés sur des échantillons de sol prélevés sous couvert forestier. La lettre «A» représente l'horizon organo-minéral. L'épaisseur de ce dernier n'a pas dépassé 5 cm dans nos relevés. Les lettres E et S et C (Baize et Girard, 1995) représentent l'horizon in-

sous sylviculture de résineux à Bure (litière acidifiante). Par contre, avec la profondeur, les couches inférieures (horizons E/S) deviennent vite acides (pH entre 3,5 et 4,5) dans tous les profils. Le dernier tableau (profil 4) illustre quant à lui l'indépendance chimique de la couche loessique acide de 80 cm d'épaisseur (S1 et S2; pH 3,8 à 4,5) par rapport à l'horizon C (S3). Ce dernier, riche en calcaire actif (forte réaction à l'HCl), est constitué de marnes calcaires jurassiques altérées, meubles, de nature silteuse, mélangées à un peu de loess. Les plantes dont les racines ne sont pas suffisamment profondes pour atteindre la forte réserve en calcium de l'horizon C devront être adaptées au «terreau acide» A/E/S

En parcourant les valeurs inscrites dans les tableaux, on constate un pH faiblement acide, voire pratiquement neutre (voir profil forestier 1) dans l'horizon organo-minéral A. Cette faible acidité pourrait s'expliquer par la restitution du calcium par le biais des débris de la végétation arbustive (écorce, etc.) dont les racines peuvent atteindre le calcaire du soubassement rocheux (Havlicek et al., 1998). Le seul pH acide relevé dans l'horizon A correspond à un sol placé



érieur, souvent structuré, entre 10 et 50 cm d'épaisseur, et dont la base atteint le substratum rocheux calcaire.

Fig. 21: Sol sous horizon forestier défriché (travaux A16). L'horizon de surface organo-minéral A («terre végétale») est peu épais et relativement acide. Il repose sur un horizon au pH acide, souvent argileux et compact. Hauteur de la coupe visible sur la photo: 50 à 75 cm. Photo OCC/SAP.

Fig. 22: Sol forestier développé sur dalle fissurée du Kimméridgien. Exemple de sol loessique brun lessivé

(S1, S2,) où doivent régner des conditions écologiques d'oligotrophie. Ce cas de figure correspond au schéma de la figure 10: «rôle de la végétation et épaisseur du lœss».

Les profils agricoles

Dans les nombreux sondages traversés par les travaux de prospection A16, nous avons rencontré un horizon labouré contenant de la matière organique généralement peu dégradée (sous forme de paille) présentant un état structural assez médiocre: les mottes de terre restaient très compactes. De plus, observé à la loupe binoculaire, l'horizon L actuel (L en abrégé de labour) présente généralement une faible activité biologique (pas de collemboles, etc). Ces indications parlent pour un sol agricole dégradé, potentiellement stérile. Par contre, les sols agricoles sont moins acides que les sols forestiers. Est-ce une contradiction?

Commune de Boncourt. Combe Châtron. Deux sols agricoles.

2 sols agricoles	Carbonates %	Mat. Org. %(1000°C)	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
1. L Prairie	0	7.5	1.6	0.3	5.9
2. L Cultures	0	4.5	1.2	0.2	5.5

Commune de Boncourt. Trois horizons agricoles [L] sur calcaire marneux.

3 sols agricoles	Carbonates %	Mat. Org. %(1000°C)	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
1. L Cp1S1	19	7.5	5.6	0.2	7.5
2..L S2-1976	8	7	3.1	0.15	7.1
3. L S2-1960	0	6	1.9	0.2	6.9

Commune de Porrentruy. Horizon agricole sur colluviosol anthropisé.

Couches	Carbonates %	Mat. Org. % (1000°C)	Phosphates u.c.	Humus u.c.	pH[KCl]
[L] Couche 1	0	6	0.5	0.15	6.9
Couche 2	0	4.5	0.5	0.10	7.1
Couche 3	0	4	1.0	0.07	7.8

peu épais développé sur calcaire au lieu-dit «Va Tche Tcha», commune de Courtedoux, Jura tabulaire. Le sol brun est totalement décarbonaté (aucune réaction à l'HCl), alors même que le

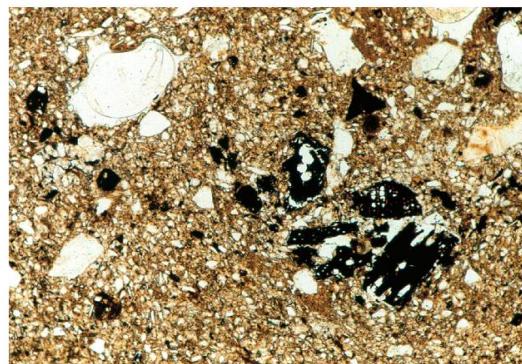
Commentaires et précisions concernant les tableaux de la figure 23

En parcourant les tableaux, on remarque que l'horizon L présente une teneur en matière organique non négligeable (entre 6 et 7,5%), bien que plus faible que celle des horizons forestiers (entre 11 et 20%, fig. 20). Par contre, la teneur en matière organique fine (humus), qui oscille entre 0,15 et 0,3 u.c. (abrégé de «unité de coloration»), reste basse comparée à la situation forestière, variant entre 0,8 et 1,7 u.c. Cette teneur relativement élevée en matière organique de l'horizon L pourrait indiquer une médiocre fragmentation et décomposition des restes végétaux et une pauvreté en faune et microfaune. Par contre, les valeurs du pH qui se situent entre 5,9 et 7,5 sont nettement moins acides que celles des horizons forestiers (pH entre 3,5 et 4,5). Les sols löessiques limoneux étant sensibles aux apports d'engrais (Havlicek et al., 1998) il est normal que le



calcaire démantelé est à 30 cm de profondeur. La dalle calcaire visible tout en bas de la photo contient des traces de sauropodes. Photo D. Aubry.

Fig. 23: Tableaux résumant les résultats géochimiques réalisés sur des échantillons de sol



sous agriculture. «L» désigne l'horizon de sol homogénéisé par le labour (Baize et Girard, 1995).

Fig. 24: Sol agricole (couleur brun-gris) sur colluvions charbonneuses de défrichement (datées du Moyen Age) au lieu-dit «Montbion», commune de Bure (Jura tabulaire). Hauteur de la réglette: 0,5 mètre. Photo OCC SAP.



Fig. 25: Vue en lame mince au microscope d'une colluvion lœssique «anthropogène» (le mot colluvion est féminin: tout comme pour le terme «alluvions», Lozet et Mathieu, 2002). On remarque les charbons de bois anguleux (en noir) issus des brûlis effectués par les hommes protohistoriques (âges du Bronze



ou du Fer). Lumière naturelle. Hauteur réelle de la photo: 1,45 mm. Photo D. Aubry.
Fig. 26: Profil de sol agricole, vallée sèche, lieu-dit «Combe de Va Tche Tcha», commune de Courtedoux. Les cultures se développent sur une couche de colluvions anthropogènes d'environ 80 cm d'épaisseur qui reposent directement sur le substratum calcaire du Kiméridgien. Photo D. Aubry.

pH mesuré dans les horizons agricoles finement gravisse autour de la neutralité, car il est tributaire des amendements calcaires. Mais cet état chimique apparemment favorable est transitoire.

Les sols lœssiques anciens d'Ajoie, l'exemple de la coupe au lieu-dit «Noir Bois», commune d'Alle

La matière première lœssique à l'origine des sols de colluvions anthropogènes agricoles et des sols forestiers est elle-même porteuse d'une grande richesse d'informations, par le biais des datations que l'on a pu y réaliser, des marques sédimentaires lisibles en stratigraphie et des objets que l'on a pu y récolter. Ainsi l'histoire du climat, les activités hu-



(Aubry et al., 2000; Guélat, 2005). On remarque au bas de la coupe une formation sablo-limoneuse du Glaciaire ancien déposée entre 115000 et 75000 BP (pour «Before Present», soit avant le présent), surmontée d'une formation limoneuse brune (sous le fil) datée du Pléniglaciaire inférieur à moyen (entre 75000 à 30000 BP) et d'un dépôt de limon gris (au-dessus du fil) daté du Pléniglaciaire supérieur (entre 28000 et 20000 BP). Les graviers caillouteux, puis

Fig. 27: Comblement d'un petit vallon au lieu-dit «Grand Combes», commune de Boncourt, par des colluvions anciennes (en brun – jaune, visibles à la base de la coupe), puis par des colluvions anthropogènes plus récentes qui apparaissent en brun foncé. Hauteur de la coupe: 2 mètres. Photo OCC/SAP.

Fig. 28: Constituant un des profils de référence du site archéologique du «Noir Bois», commune d'Alle, cette coupe a été à la base de l'individualisation des unités chronologiques lœssiques (ensembles E) en Ajoie

maines antérieures, les mouvements sédimentaires fossilisés sont autant d'éléments lisibles dans les sols en Ajoie: ceux-ci ne sont donc pas uniquement des «profils pédologiques» aux caractéristiques géochimiques mesurables. Par exemple, le profil de la figure 28, malgré son apparence simplicité, nous a restitué bien des données paléoenvironnementales et géoarchéologiques.

Les traces fossilisées du gel périglaciaire lisibles dans les sols

A l'époque du Pléniglaciaire supérieur, les sols du Jura étaient soumis aux rigueurs du climat et gelaient profondément. Dans plusieurs sondages et sites archéologiques, nous avons relevé des structures de gel fossilisées à l'échelle millimétrique, centimétrique, voire métrique. Elles témoignent qu'il ne devait pas être commode de résider dans ce territoire il y a 20000 ans. La structuration du sol induite par les alternances de gel-dégel a souvent compacté celui-ci par les migrations internes de l'eau associées aux forces capillaires puissantes.



les lœss qui coiffent la stratigraphie, datent du Pléniglaciaire final (il y a environ 18000 ans) et du Tardiglaciaire (il y a environ 14000 ans). Hauteur du jalon: 2 mètres.
Photo OCC/SAP.

Fig. 29: Traces de gel fossilisées dans les sols lœssiques en Ajoie. Vue en plan d'une structure polygonale (fissuration blanchâtre) due au gel profond qui a sévi au Pléniglaciaire supérieur (il y a en-

Conclusions

Au terme de cette approche pédologique et géoarchéologique des sols de l'Ajoie tabulaire, on constate que ceux-ci révèlent une contradiction. En effet, leur minéralogie et leur chimie déterminent une ambiance «acide» alors qu'on pourrait s'attendre à une ambiance «carbonatée» du fait de leur évolution sur un substratum totalement calcaire. En Ajoie, les anciens agriculteurs néolithiques ne se sont pas posé de telles questions et ils n'ont pas hésité à poursuivre leur progression dans la colonisation des territoires lœssiques européens, mille ans après leurs prédecesseurs qui ont exploité les sols lœssiques en Alsace. Ils ne se sont arrêtés que

lorsqu'ils sont arrivés à la terminaison méridionale des sédiments qu'ils prisaient, c'est-à-dire la barrière de la chaîne jurassienne. Ils se sont ainsi installés sur des sols qui sont toujours considérés comme les plus fertiles de Suisse par les agronomes. Cependant, il faut considérer actuellement les surfaces d'assolement ajoulates (SDA au sens de l'Ordonnance de l'aménagement du territoire, 1989) comme autant d'espaces fragiles, extrêmement sensibles à l'érosion pluviale et fortement dégradés au niveau de la fertilité potentielle ou «fécondité». De ce point de vue, nos sols sont véritablement mis sous perfusion et s'ils sont considérés comme fertiles (au sens des agronomes), c'est que leur nature granulométrique et minéralogique permet de bien retenir les éléments introduits par «perfusion», contrairement aux terres très filtrantes (sables) ou au contraire très lourdes (terres argileuses).

Par contre, si les lœss d'Ajoie ne sont pas si avantageux que l'on pourrait s'y attendre, ils constituent une mine précieuse d'informations géoarchéologiques et paléontologiques. En effet, leurs propres caractéristiques (silts fins, pas trop d'argiles, etc) en font des sédiments qui gardent très bien en mémoire les paléotraits texturaux et les formes anthropiques fossiles (fissures de gel, horizons de contacts, traces de négatifs de racine, fosses et foyers anciens, pour n'en citer que quelques-unes). Finalement, il faut évoquer la particularité des «sols du karst» en Ajoie que sont les remplissages sédimentaires de très nombreuses dolines (plus de 10000 sont estimées présentes en Ajoie tabulaire). Ces sédiments piégés constituent autant de sols, restreints dans l'espace mais profonds, qui recèlent pour certains des restes d'ossements de faune du Pléistocène, des paléosols enfouis, des traces d'occupations humaines sur plusieurs niveaux et des traces d'incendies naturels. Ces «sols de karst» sont ainsi autant de fenêtres ouvertes sur le passé sédimentaire archéologique et paléontologique, fenêtre que nous espérons investiguer au mieux de nos moyens et ne refermer qu'après la clôture de nos recherches d'ici quelques années.

Mes remerciements vont:

- A la direction de l'Archéologie et la Paléontologie A16 de l'Office de la culture du canton du Jura, soit R. Fellner, W. Hug et F. Schifferdecker, qui ont rendu possibles ces recherches.
- A mes collaborateurs, soit Simon Maître, Marie Claude Maître et Line Petignat Häni qui m'ont bien aidé dans la réalisation de l'iconographie et de l'infographie.
- Au Dr Claire Le Bayon de l'Institut de botanique de l'Université de Neuchâtel qui a bien voulu réaliser les essais de laboratoire sur les profils du Neu Bois et de Sierentz.
- A mon collègue Blaise Othenin-Girard qui a pris la peine de relire et de corriger le texte.

Denis Aubry est diplômé en géologie de l'université de Lausanne et diplômé en sciences de l'environnement (formation continue ECOFOC) de l'université de Neuchâtel. Il travaille actuellement à la Section d'archéologie de l'Office de la culture du Canton du Jura.

BIBLIOGRAPHIE

- Adatte T. (2000). Etude minéralogique des loess. In: Aubry D., Guélat M., Detrey J. Othenin-Girard B. et al. (2000). Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura Suisse). Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy. Cahier d'archéologie jurassienne 10, p 81-88.
- Aubry D. (2001). Erosion des terres loessiques en Ajoie, canton du Jura. Du sol forestier au sol agricole. Travail de diplôme en formation continue. Ecologie et environnement. Université de Neuchâtel et Office du patrimoine historique Porrentruy. 90 p. (inédit).
- Aubry D., Guélat M., Detrey J. Othenin-Girard B. et al. (2000). Dernier cycle glaciaire et occupations paléolithiques à Alle, Noir Bois (Jura Suisse). Office du patrimoine historique et Société jurassienne d'Emulation, Porrentruy. Cahier d'archéologie jurassienne 10, 176 p.
- Aubry D., Braillard L., Guélat M., Stalder L. et Stahl Gretsch L.-I (2005). L'homme et l'environnement. Archéologie suisse 28/2 p. 6-16.
- Baize D. et Girard M.-C. (1995). Référentiel pédologique. Institut National de la Recherche Agronomique. Ed. INRA, Paris, 375 p.
- Braillard L. (2005). Rôle de la tectonique et de la stratigraphie dans la formation des vallées sèches de l'Ajoie (JU-Suisse). *Actes de la Société jurassienne d'Emulation*, Porrentruy, vol 108, p. 33-65.
- Bruckert S. et Gaiffe M. (1985). Les sols de Franche-Comté. Centre Universitaire d'Etude Régionale (CUER). Université de Franche-Comté, Besançon. Laboratoire de Taxonomie et Phytosociologie. 142 p.
- Bruckert R. (2003). Géographie du pâturage boisé jurassien. Extraits des *Actes* 2003. Société jurassienne d'Emulation (Porrentruy), p. 85 - 96.
- Burnand J., Burger T., Stocker R., Kaufmann G. et Danner E. (1998). Stations forestières du canton du Jura et du Jura bernois. République et Canton du Jura, service des forêts et canton de Berne, Office des forêts. Volume 2.
- Chaib J. (1997). Les eaux pluviales. Gestion intégrée. Editions du Sang de la Terre et Foncier conseil. Paris - écologie urbaine.
- Chauve P., Martin J. et Baily C. (1985). Carte géologique de la France à 1: 50000, feuille Delle (N° 475). Editions du BRGM.
- Gobat J.-M. (1996). Introduction à la pédologie et aspects de la classification des sols. Cours ECOFOC, Institut de botanique, Université de Neuchâtel. 12p (inédit).
- Guélat M. (2005). Le quaternaire dans le canton du Jura. *Actes de la Société jurassienne d'Emulation*, Porrentruy, vol 108, p. 9-31.
- Havlicek E. et Gobat J.-M. (1996). Les apports éoliens dans les sols du Jura. Etat des connaissances et nouvelles données en pâturages boisés. Etude et Gestion des sols 3, p. 167-178.
- Havlicek E., Gobat J.-M et Gillet F. (1998). Réflexions sur les relations sol - végétation: trois exemples du Jura sur matériel allochtone. Ecologie, t. 29 (4), p. 535-546.
- Havlicek E. (1999). Les sols du Jura. Cours ECOFOC, Institut de botanique, Université de Neuchâtel (inédit).
- Jeunesse C. (1993). Les premiers agriculteurs. Le Néolithique en Alsace. Collection du musée d'archéologie 2, éd. Les musées de la ville de Strasbourg. 127 p.

- Lang A., Preston N., Dickan R., Bork H.-R et Mâckel R. (2000). Exemples from the Rhine Catchment. Loess Hill-Country. Pages Newsletter 2000-3. Past global change, vol. 8 N° 3, p. 11-13.
- Lozet J. et Mathieu C. (2002). Dictionnaire de Science du sol, 4^e édition. Ed. TEC & DOC, Paris, 575 p.
- Mosimann Th. et Mosimann - Baumgartner B. (1996). Die Gefährdung der Böden in der Schweiz. WWF Bodenkampagne. Böden in Not, Suisse, Zürich, 38 p.
- OFEFP (1999). La forêt suisse - un bilan. Analyse politique du deuxième inventaire forestier national. Office Fédéral de l'Environnement, des Forêts et du Paysage. Berne.
- OFS (1996). Statistiques suisses de l'environnement N° 5. Le sol. Publié par l'Office Fédéral de la Statistique. Berne.
- Othenin-Girard B., Aubry D. et Detrey J. (2003). Exploitation de chaux, faune glaciaire et traces d'habitats de l'âge du Fer. Fouilles 2002. Office du Patrimoine historique, Porrentruy, rapport inédit, 82 p.
- Pancza A. (1997). Erosion des sols. Cours ECOFOC, institut de botanique, Université de Neuchâtel (exposé inédit).
- Vadi G. (1998). Analyses de la teneur en Fer, Al et Mn sur des échantillons de sols loessiques. Rapport scientifique du laboratoire d'écologie végétale et de phytosociologie. Université de Neuchâtel.
- Wang A., Gertner G., Xianzhong L. et Anderson A. (2001). Uncertainty assessment of soil erodibility factor for revised universal soil loss equation (RUSLE). Catena 46, p. 1-14. Elsevier édition.

