Zeitschrift: Bulletin de la Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Neuchâteloise des Sciences Naturelles

Band: 121 (1998)

Artikel: Le paradoxe de la podzolisation en domaine jurassien : aspects pédologiques et phytosociologiques

Autor: Vadi, Gaëlle / Gobat, Jean-Michel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-89511

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: 02.07.2025

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

LE PARADOXE DE LA PODZOLISATION EN DOMAINE JURASSIEN

ASPECTS PÉDOLOGIQUES ET PHYTOSOCIOLOGIQUES [1]

GAËLLE VADI ET JEAN-MICHEL GOBAT

Laboratoire d'Ecologie végétale, Université de Neuchâtel, rue Emile Argand 11, CH-2007 Neuchâtel 7, Suisse.

Mots-clés: Jura, PODZOSOLS, podzolisation, pessière, Sphagno-Piceetum, relations sol-végétation.

Key-words: Jura Mountains, podzosoils (Spodosols), podzolisation, spruce forest, Sphagno-Piceetum, soil-vegetation relationships.

Résumé

Dans le Jura, un lien très étroit a été observé entre les sols podzolisés et la pessière à blechnum. Ce phénomène concerne des surfaces s'étendant entre quelques mètres carrés et un hectare. Les auteurs dressent le bilan des connaissances acquises sur cette relation et complètent les données sur la podzolisation jurassienne. La végétation, étudiée au moyen de la phytosociologie synusiale intégrée, correspond au *Sphagno-Piceetum blechnetosum*. Cette phytocénose montre deux formes et contient généralement sept synusies. Une description morphologique des sols et une analyse du comportement de trois formes du fer (extractions tétraborate, pyrophosphate et oxalate) ont été effectuées. La convergence de ces critères confirme la présence de PODZOSOLS MEUBLES parfaitement différenciés dans le Jura. Un indice synthétique d'entraînement du fer a été défini; il permet de distinguer trois catégories de sols à intensité d'éluviation croissante, reflétant des étapes successives de la pédogenèse: podzolisation ménagée, franche ou extrême.

Summary

In the Jura Mountains a very close relationship has been observed between podzolised soils and forests characterised by Spruce (*Picea abies*) and the Hard Fern *Blechnum spicant*. This phenomenon concerns surfaces ranging from a few square meters to a hectare. The authors review the current knowledge on this relationship and add new data on podzolisation processes in the Jura. The vegetation studied by the synusial phytosociological method belongs to the *Sphagno-Piceetum blechnetosum*. This phytocoenosis occurs in two forms and usually contains seven synusiae. A morphological description of the soils and an analysis of the behaviour of three forms of iron (tetraborate, pyrophosphate and oxalate extractions) were done. The convergence of these two criteria confirms the presence, in the Jura, of perfectly differentiated SPODOSOLS (AFES classification: PODZOSOLS MEUBLES). A synthetic index of iron leaching was defined; it allows the distinction of three soils categories characterised by an increasing eluviation intensity and reflecting the successive stages of the pedogenesis: weak, clear and extreme podzolisation.

[1] Cet article est issu du travail de diplôme du premier auteur

INTRODUCTION

La podzolisation ...

Mode d'évolution pédologique exceptionnel dans le Jura, la podzolisation est active dans 16 % de la couverture pédologique mondiale (PEDRO in BONNEAU & SOUCHIER, 1994), principalement dans les zones boréales froides (taïga et étages subalpin et montagnard). Elle consiste en phénomènes de soustraction-redistribution de composés organo-métalliques (chélates) au sein de la colonne de sol, sous l'influence de molécules organiques acides issues de la dégradation lente d'une litière acidifiante (résineux, éricacées) (DUCHAUFOUR, 1983). Impropre à une bonne activité de la faune des décomposeurs et de la microflore bactérienne, la litière s'accumule pour former un épisolum humifère épais et acide de type moder ou mor.

Sous l'effet des précipitations, ces couches organiques libèrent des composés agressifs pour les minéraux des horizons sous-jacents. Ces substances complexantes arrachent des ions aluminium, puis fer (phénomène d'acido-complexolyse), qu'ils entraînent en profondeur par chéluviation. Au fur et à mesure de cette migration, les conditions physico-chimiques du sol se modifient et les composés chéluviés précipitent, s'accumulent et se condensent sous forme d'hydroxydes dans des niveaux préférentiels (SOUCHIER, 1984). A cette différenciation chimique correspond une morphologie caractéristique influencée principalement par la coloration du fer dans ses diverses formes. Les horizons appauvris blanchissent (zone d'éluviation, horizons E) tandis que les horizons d'accumulation (zone d'illuviation, horizons BP) se colorent en ocre ou en orangé (DUCHAUFOUR, 1983; SOUCHIER, 1984). Dans les PODZOSOLS les plus évolués, l'illuviation procède en deux phases: la matière organique se fige dans un horizon noir BPh qui surplombe un niveau rouge-orangé où se condensent les minéraux amorphes, hydroxydes de fer et d'aluminium (horizon BPs) (RIGHI *in*: AFES, 1995).

... impensable dans le Jura !

La couverture pédologique jurassienne est souvent peu épaisse en raison de sa relative jeunesse (âge tardi- à postwürmien, décapage glaciaire) et d'une érosion importante (forte pluviosité, soutirage karstique) (BOUYER *et al.*, 1978). On peut la subdiviser en quatre catégories principales selon l'importance de la matière organique et des carbonates, ou selon les conditions locales d'altération et d'hydromorphie:

- sols humifères peu évolués (ORGANOSOLS, LITHOSOLS, RÉGOSOLS),
- sols calci-magnésiques (RENDOSOLS, RENDISOLS),
- sols brunifiés, dominants dans le Jura (CALCOSOLS, CALCISOLS, BRUNISOLS, NÉOLUVISOLS),
- sols hydromorphes (RÉDUCTISOLS, HISTOSOLS).

Les conditions climatiques régnant à l'étage subalpin du Jura sont favorables à la podzolisation; toutefois celle-ci y est bloquée pour deux raisons (MICHALET & BRUCKERT, 1986):

a) La nature du soubassement rocheux, dominé par des sédiments jurassiques ou crétacés (RICHARD, 1961).

Ceux-ci présentent majoritairement des séquences calcaires et marneuses, recouvertes parfois par des paquets de molasse tertiaire (AUBERT *et al.*, 1979; BOUYER *et al.*, 1978).

b) La trop faible épaisseur des sols.

Le flux des ions calcium en provenance de la roche-mère est maintenu par la présence, au sein du sol, de fragments de roche (sols calcaires ou calciques) ou par le jeu du cycle biogéochimique (sols brunifiés). Ce n'est qu'au delà d'une couche de 35 à 40 cm de matériau silicaté (apport

allochtone limoneux, résidu insoluble important de calcaires marneux, etc.) que le calcium perd son influence, laissant le sol s'orienter vers une pédogenèse acide. C'est le domaine des sols bruns ocreux (ALOCRISOLS) qui présentent un début de podzolisation (BRUCKERT & GAIFFE, 1980; MICHALET & BRUCKERT, 1986; HAVLICEK & GOBAT, 1996). Ces sols ont longtemps été considérés comme les seuls représentants de la podzolisation dans le Jura.

Et pourtant...

En 1961, RICHARD découvre un véritable PODZOSOL dans la Forêt des Ecorces (Département du Doubs, France), dont la présence résulte d'une combinaison de conditions stationnelles précises. La découverte d'autres sols de ce type dans la vallée de La Brévine, à Chasseral et aux Saignolis (chaîne de Pouillerel) permet à RICHARD de définir les composants de cette combinaison: climat humide et froid, morphologie plane permettant un écoulement d'eau vertical, roche-mère riche en éléments silicatés et végétation particulièrement acidophile, identique dans chaque cas répertorié. Cette dernière est une sous-association de la pessière à sphaignes (*Sphagno-Piceetum*), à cortège floristique inédit. Caractérisée par une fougère acidophile, le blechnum en épi (*Blechnum spicant*), cette forme du *Sphagno-Piceetum* se distingue de l'autre sous-association (à *Betula pubescens*) par la nature du sol. S'il est fréquent de trouver les deux formes côte à côte, la sous-association à bouleau croît toujours sur la tourbe (HISTOSOL) tandis que celle à blechnum le fait sur un sol podzolisé. Depuis RICHARD (1961), divers travaux ont mis au jour d'autres cas de présence conjointe du *Sphagno-Piceetum blechnetosum* et de son étrange substrat (tab. 1).

L'existence paradoxale de PODZOSOLS dans le Jura est ainsi aujourd'hui clairement établie et bien documentée, même si aucun travail global de description pédologique n'a encore été effectué jusqu'ici. C'est pour combler cette lacune qu'a été réalisée la présente recherche dont les quatre buts sont de:

- prouver la podzolisation jurassienne de manière irréfutable,
- la caractériser,
- estimer son intensité,
- préciser la nature du lien étroit existant entre la végétation et le sol.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

En vertu de la remarquable fidélité, soulignée par RICHARD (1961), entre le *Sphagno-Piceetum blechnetosum* et les sols podzolisés, notre recherche s'est orientée dans une double perspective: le sol et la végétation. Nous avons ainsi visité huit sites, dont sept choisis sur une base bibliographique (tab. 1).

Des fosses ont été creusées dans chacune des stations; les profils ont été décrits et analysés, puis les sols nommés selon le Référentiel pédologique (AFES, 1995; GOBAT & HAVLICEK, 1996). Des relevés phytosociologiques effectués selon la méthode synusiale intégrée (GILLET *et al.*, 1991) complètent la caractérisation des stations. Les analyses usuelles en pédologie (pH, taux de saturation, perte au feu) ont été suivies d'extractions destinées à l'étude de la dynamique des métaux chélatés puis précipités sous forme de sesquioxydes. Les formes du fer ont été extraites de la manière suivante:

- formes complexées mobiles: tétraborate-Na à pH 9,7 (ROUILLER, 1981),
- formes complexées immobiles: pyrophosphate-Na 0,1 M (ROUILLER, 1981),
- formes amorphes: tampon oxalique (Tamm) (BONNEAU & SOUCHIER,1994),

Site	Canton / Pays	CN No	Coordonnées	Altitude (m)	Références
La Vattay	France	1260	493475 138190	1285	GOBAT & GALLANDAT, inédit
					GILLET *et al.* , 1984
La Grosse Prise	N E	1162	528200 201360	1195	RICHARD, 1961
Les Saignolis (1)	N E	1143	548575 215625	1235	RICHARD, 1961
Les Saignolis (2)	N E	1143	548625 215400	1250	BARTOLOME, 1990
Forêt des Ecorces	France	1124	551090 227125	885	RICHARD, 1961
Creux de l'Epral	J U	1124	562013 228375	990	KRAEHENBUEHL, 1968
					CHRISTEN & FRUTSCHI, 1987
Les Pontins	B E	1124	565825 219725	1100	BUTTLER *et al.* , 1983
					GOBAT, 1984
Bois Raiguel	B E	1125	575975 222550	1250	RICHARD, 1961
Raimeux	B E	1106	600150 239425	1120	VADI & GOBAT (cette publication)

Tableau 1: Identification des sites étudiés (CN No: numéro de la carte nationale).

- formes cristallisées: tampon CBD (Mehra-Jackson) (BONNEAU & SOUCHIER, 1994).

RÉSULTATS

Concernant la végétation

Les relevés effectués sur les huit sites présentent un grande homogénéité floristique et structurelle (tab. 2). Ils s'inscrivent tout à fait dans la définition du *Sphagno-Piceetum blechnetosum* et sont comparables à ceux des tableaux de végétation disponibles dans la littérature (RICHARD, 1961; BUTTLER *et al.*, 1983; GILLET *et al.*, 1984; CHRISTEN & FRUTSCHI, 1987).

Les espèces différentielles de sous-association (*Blechnum spicant, Prenanthes purpurea, Athyrium filix-femina*) et d'association (*Equisetum sylvaticum*) sont fidèles. L'épicéa (*Picea abies*) est constant et domine la strate arborescente, *Abies alba* et *Fagus sylvatica* restant sous forme arbustive. Les essences buissonnantes principales sont *Sorbus aucuparia*, *F. sylvatica* et *Lonicera nigra.* L'essentiel du couvert herbacé est formé de *Vaccinium myrtillus,* fréquemment associé à *Oxalis acetosella*, *Dryopteris dilatata* et *Maianthemum bifolium.*

A l'exception de deux cas, la phytocénose comprend sept synusies: arborescentes haute et basse, buissonnantes haute et basse, herbacées haute et basse et muscinale. Au Bois Raiguel, la synusie buissonnante haute est manquante, conséquence de la violente tempête survenue une dizaine d'années auparavant; le vent a également couché tous les arbres, à l'exception des grands épicéas, d'où le caractère monospécifique des synusies arborescentes. A Raimeux, ce sont les hautes herbes qui manquent à cause de la faible luminosité au niveau du sol (fort taux de boisement et feuillages denses), du piétinement et de l'abroutissement; la pression du bétail se marque également au niveau du recrû: les plantules ne dépassent pas dix centimètres et seul l'épicéa participe aux strates buissonnantes et arborescentes.

Concernant les sols

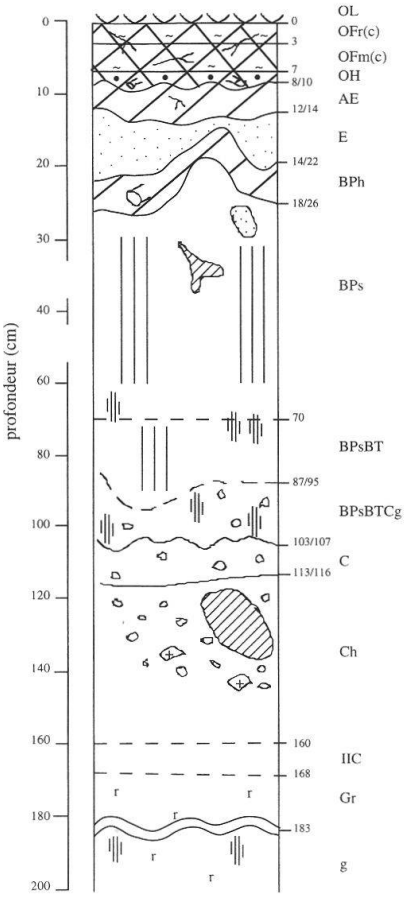
A titre d'exemple, le PODZOSOL de La Vattay est décrit dans la figure 1.

Des indices d'entraînement (DUCHAUFOUR, 1983) ont été estimés (tab. 3). Ils

Site	La Vattay	La Grosse Prise	Les Saignolis	Forêt des Ecorces	Creux de l'Epral	Les Pontins	Bois Raiguel	Raimeux
Exposition	NO				NE	N	NNO	NNE
Pente %	0 à 20	0	0	0	25	0 à 10	0 à 10	0 à 10
Surface m2	10	90	20	50	60	20	60	50
Recouvrement % arbres	30	10	30	15	10	20	20	20
Recouvrement % arbustes	10	20	15	30	30	10	10	10
Recouvrement % herbes	80	70	80	70	40	60	80	60
Recouvrement % mousses	90	80	80	90	90	90	90	90
synusie A	3.2	2.2	2.3	2.2	2.1	2.3	2.1	4.2
Picea abies	5.2	4.2	2.3	5.2	5.2	5.3	5.1	5.3
Fagus sylvatica		2.1	1.1					+.1
Abies alba		+.1						
synusie a	1.1	1.1	1.1	1.3	1.3	1.2	+.1	2.1
Picea abies	5.3	2.2		2.1		4.3	+.1	4.3
Abies alba	1.1	+.1	1.1	2.1	4.3			
Sorbus aucuparia		+.1	+.1	1.1	+.1			
Fagus sylvatica			+.1	+.1		+.1		
Acer pseudoplatanus				+.1		+.1		
synusie B	1.1	2.1	+.1	2.3	2.3	2.2		1.3
Picea abies	+.1	1.1	3.1	2.2				5.3
Sorbus aucuparia	+.1	2.3	3.1	+.1	2.2	2.3		
Fagus sylvatica	2.1	2.1		+.1	+.1	1.1		
Abies alba	1.1	1.3		2.2	3.3			
Lonicera nigra		1.3		+.1	2.1	2.2		
Acer pseudoplatanus		+.1	+.1			+.1		
Sorbus aria				+.1	+.1			
synusie b	2.1	2.3	2.1	2.2	3.2	1.2	2.1	1.3
Picea abies	+.1	+.1	1.1	2.2	1.1	+.1		5.3
Sorbus aucuparia	2.1	2.3	2.3	1.2	2.3	2.3	3.2	
Fagus sylvatica	2.1	2.1	1.1	+.1	1.1	2.1	2.1	
Lonicera nigra	+.1	2.3	1.1	+.1	2.3	2.3	1.1	
Abies alba	1.1	1.2		2.2	3.3	1.1		
Acer pseudoplatanus					+.1	+.1	+.1	
Sorbus aria			+.1		+.1		+.1	
Vaccinium myrtillus	+.1							
Rubus idaeus							2.3	
Sorbus torminalis			+.1					
Rubus saxatiiis					+.1			
Sambucus nigra					+.1			
Betula pubescens					+°.1			
synusie H	2.1	1.2	3.4	2.1	2.3	1.1	2.1	
Athyrium filix-femina		1.1	2.3	2.3	1.3	1.3	2.3	
Prenanthes purpurea	2.1	1.1	2.1	1.1		2.1	3.2	
Dryopteris dilatata	2.3	2.2	1.1		2.3	2.3		
Equisetum sylvaticum	2.1		2.3		2.1	1.1	1.1	
Vaccinium myrtillus	1.1		4.4	+.1				
Abies alba	+.1		+.1	+.1				
Picea abies			+.1	+.1	1.1			
Fagus sylvatica				+.1		+.1		
Streptopus amplexifolius	2.3		+.1					
Hieracium lachenalii	1.1							
Solidago virga-aurea	+.1		+.1					
Knautia dipsacifolia	+.1							
Phyteuma spicatum	+.1							
Polygonatum verticillatum	+.1		1.1					
Luzula sylvatica	+.1							
Dryopteris affinis	+.1							
Hieracium murorum	+.1							
Veratrum album	+.1					1.1		

Site	La Vattay	La Grosse Prise	Les Saignolis	Forêt des Ecorces	Creux de l'Epral	Les Pontins	Bois Raiguel	Raimeux
Rubus fruticosus		1.1		+.1	+.1			
Sorbus aucuparia			+.1		2.1	+.1		
Polygonum bistorta			1.1					
Adenostyles alliariae			+.1					
Orchis maculata			+.1					
Dryopteris carthusiana				2.3				
Sorbus torminalis					1.1			
Cicerbita alpina							2.2	
Senecio ovatus						+.1	2.1	
Melampyrum sylvaticum						+.1		
Rubus idaeus							2.2	
synusie h	5.4	4.4	3.4	4.4	3.2	4.4	5.4	3.4
Vaccinium myrtillus	5.4	4.4	2.4	4.4	3.4	4.4	4.5	2.4
Blechnum spicant	2.3	2.3	2.3	1.3	+.1	1.3	2.3	1.1
Oxalis acetosella	+.1	2.2	3.2	2.2	3.3	2.3	1.3	2.3
Maianthemum bifolium	2.1	2.1	2.2		1.3	2.2	2.1	
Hieracium murorum			1.1		2.1	1.1	1.1	1.1
Sorbus aucuparia	+.1	+.1				+.3		+.1
Rubus idaeus	1.1	1.1				+.1		
Homogyne alpina	1.3					2.3		
Deschampsia caespitosa	+.1						1.3	
Vaccinium vitis-idae	1.3							
Melampyrum sylvaticum	+.1							
Rubus fruticosus		1.1		2.3				
Fagus sylvatica		+.1						
Solidago virga-aurea			+.1					
Galium odoratum			+.1					
Luzula luzulina			+.1					
Acer pseudoplatanus			+.1					+.1
Vaccinium uliginosum				2.2		2.3		
Luzula sylvatica				+.1				
Abies alba				+.1	+.1	+.1		+.1
Picea abies				+.1		+.1	+.1	+.1
Dryopteris filix-mas				+.1				1.1
Lonicera nigra				+.1	1.3			
Carex sylvatica				+.1		+.1		
Lamium album				+.1				
Polygonatum verticillatum				+.1			+.1	+.1
Lycopodium annotinum				4.5		4.5		
Lycopodium selago				+.1				+.5
Stachys sylvatica				+.1				
Agrostis stolonifera					1.1	+.1		1.1
Luzula multiflora					1.1			
Cardamine pratensis					1.1			
Orchis maculata					+.1	+.1		
Paris quadrifolia					+.1			
Polygonum bistorta						1.1	1.1	
Phyteuma spicatum						+.1		
Prenanthes purpurea						+.1		+.1
Luzula sylvatica						+.1	1.3	
Petasites albus							1.1	
Lysimachia nemorum							+.1	
Galium pumilum							+.1	
synusie m	5.4	4.4	4.5	5.5	5.5	5.4	5.5	5.5
Rhytidiadelphus loreus	3.5	4.5	4.4	2.5	2.5	3.5		
Polytrichum formosum		3.3	4.4		2.4	3.5	3.4	4.5
Dicranum scoparium	3.4			+.5		1.5	2.4	1.5
Marchantia polymorpha		+.3						2.5
Polytrichum commune				3.5				
Plagiochila asplenoides				1.5		2.5		
Hylocomium splendens				+.5				
Rhytidiadelphus triquetrus							2.5	
Thuidium tamariscinum								1.5
Pleurozium schreberi								1.5
Sphagnum spp.	4.4		1.5		4.4	2.5		

Tableau 2: Relevés phytosociologiques (nomenclature des espèces selon AESCHIMANN & BURDET, 1994).



PODZOSOL MEUBLE bathyluvique, à hydromor, sur gley fossile

Lieu: La Vattay, Département de l'Ain, France
Coordonnées: 493475 138190
Géomorphologie: rupture de pente
Exposition: NO
Géologie: molasse rouge de La Vattay (Chattien inf.)
Végétation: *Sphagno-Piceetum blechnetosum*

OL • brindilles, aiguilles et cônes d'épicéa, sphaignes
OFr(c) • feutrage d'aiguilles, traces de mycélium
• racines fines 2/5
OFm(c) • débris non identifiables, traces de mycélium
• racines fines 3/5
OH • horizon organique, microgrumeleux; couleur 10 R 2.5/2
• racines grosses, moyennes et fines 5/5; porosité forte
AE • horizon sablo-lim., grumeleux puis particulaire, couleur 10 YR 3/2
• radicelles 1/5; quelques graviers, ø 5 mm; porosité moyenne à forte
E • horizon sableux, particulaire, couleur 2.5 Y 6/2
• porosité forte
BPh • horizon sableux, particulaire tassé, couleur 7.5 YR 3/2
• racines moyennes 0,5/5; porosité forte
BPs • horizon sablo-lim., polyédrique à particulaire, couleur 7.5 YR 6/8
• précipités organiques (7.5 YR 3/3) dans les fissures; porosité moyenne
BPsBT • horizon à texture mixte, polyédrique à particulaire, couleur 7.5 YR 4/6
• porosité moyenne
BPsBTCg • horizon sableux, particulaire, couleur 10 YR 6/4
• traces d'hydromorphie; graviers, ø 2-5 mm; porosité forte
C • horizon sableux, particulaire, couleur 10 YR 5/4
• graviers, ø -> 5 mm; porosité forte
Ch • horizon sableux, particulaire, couleur 10 YR 5/4
• poche de matière organique (2.5 YR 2.5/2), ø 10 cm avec restes ligneux
• cailloux siliceux, 10 %, ø 2-100 mm; porosité forte
• cet horizon pourrait être un ancien horizon A enfoui et dégradé
IIC • horizon sableux, particulaire, couleur 5 Y 7/4
Gr • sables grossiers gorgés d'eau, couleur 2.5 Y 4/3
• traces de fer réduit
Limite des carbonates: 183 cm
g • sables fins gorgés d'eau
• taches 10 YR 5/6 et 5 Y 6/4
• cet horizon pourrait être un ancien Go enfoui

						Extractions du fer et de l'aluminium							
Horizon	pH	pH	ac. d'échange	perte au feu	taux de sat.	tétraborate		pyrophosphate		oxalate		CBD	
	H2O	KCl	(Δ pH)	%	V (%)	Fe (‰)	Al (‰)	Fe (‰)	Al (‰)	Fe (‰)	Al (‰)	Fe (‰)	Al (‰)
OL	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OFr(c)	4,8	2,8	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OFm(c)	4,2	2,3	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OH	4,4	2,3	2,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AE	4,8	2,9	1,9	10	1	0	0	0,1	0	0	0,1	0,4	0,1
E	4,9	3,6	1,3	2	-	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
BPh	4,0	2,8	1,2	8	-	0,3	0,7	0,5	0,1	0,3	0,8	1,8	0,9
BPs	4,5	2,9	1,6	12	1	1,1	1,1	3,9	0,8	3,1	2,2	25,3	2,9
BPsBT	4,6	3,0	1,6	8	-	0	0,4	1,0	1,7	2,7	2,7	31,4	3,1
BPsBTCg	4,8	3,3	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	4,9	3,4	1,5	5	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Ch	4,8	3,7	1,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IIC	5,7	3,9	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gr	7,7	7,3	0,4	-	53	-	-	-	-	-	-	-	-
g	9,0	7,7	1,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Figure 1: Description du PODZOSOL MEUBLE de La Vattay et analyses physico-chimiques.

reflètent la redistribution des composés ferriques de l'horizon éluvial à l'horizon principal de précipitation des sesquioxydes. Ils ont été établis à partir des extractions au tétraborate (comportement des composés labiles), au pyrophosphate (composés de précipitation) et à l'oxalate (composés amorphes). Les teneurs en formes libres (CBD) ont été abandonnées dans ces calculs, car nous les avons jugées trop influencées par la quantité de composés ferriques dans la roche-mère.

Séparément, ces indices reflètent des comportements différents d'un solum à l'autre mais ne concernent qu'un aspect particulier de l'évolution du fer au sein du profil. Nous nous sommes par conséquent servis d'un indice moyen (moyenne arithmétique des trois indices susmentionnés) pour placer nos sols sur une échelle évolutive générale selon l'intensité de l'éluviation subie (fig. 2). Le tableau 4 et la figure 3 intègrent des données recueillies dans la littérature.

DISCUSSION

Des plantes...

Dans les stations étudiées, la phytocénose se distribue en deux sous-ensembles:

a) En ceinture externe de tourbière

Dans ce cas, les surfaces occupées par le *Sphagno-Piceetum blechnetosum* forment de longs rubans qui s'intercalent entre la sous-association à bouleau de la pessière à sphaignes (vers l'intérieur de la tourbière) et une hêtraie. Aux Saignolis, les bandes de pessière à blechnum atteignent une centaine de mètres de longueur. Aux Pontins, le ruban se découpe en fragments d'une quinzaine de mètres tandis qu'au Creux de l'Epral il est fractionné au point d'être limité à quelques bosquets d'épicéas.

b) En mosaïque avec des zones humides envahies par la mégaphorbiaie

Il est ici également possible de dégager plusieurs niveaux spatiaux d'organisation (GOBAT *et al.*, 1998). A La Vattay, les surfaces de pessière à blechnum dépassent la centaine de mètres et sont séparées par de véritables "bras" de mégaphorbiaie, situés sur des RÉDUCTISOLS. Les sols de ces deux phytocénoses distinctes sont indépendants du point de vue évolutif mais, à long terme, le mouvement général de solifluxion affectant cette zone peut aboutir à leur superposition (fig. 1). Dans la Forêt des Ecorces, la pessière à blechnum occupe des parcelles de quelques dizaines de mètres carrés alors qu'au Bois Raiguel elle se limite à la couronne des épicéas, soit une circonférence de quelques mètres. Plus spectaculaire encore, à Raimeux, la phytocénose est strictement limitée à la base du tronc des épicéas, où l'on observe la formation de véritables "podzols en entonnoir" (DUCHAUFOUR, 1983).

...et un sol

Les neuf sols étudiés présentent un ou plusieurs horizons BP, une caractéristique morphologique indispensable pour les attribuer à la référence PODZOSOL du Référentiel pédologique (AFES, 1995). Le sol de La Grosse Prise est un intergrade entre le PODZOSOL OCRIQUE (pas d'horizon éluvial) et le PODZOSOL MEUBLE (à horizon éluvial). Les autres sols sont des PODZOSOLS MEUBLES. La plupart des formes d'humus observées sont des moders plus ou moins évolués, voire même des mors à La Vattay et à la Forêt des Ecorces.

Les analyses confirment la podzolisation: pH bas, acidité d'échange élevée, faible taux de saturation, répartition conforme des formes du fer et de l'aluminim. L'échelle d'éluviation fondée sur l'indice global d'entraînement (fig. 2) délimite trois catégories principales parmi nos profils:

a) Un sol à **podzolisation ménagée**, fortement isolé des autres (La Grosse Prise)

Site	Horizons diagnostiques	indice tétra	indice pyro	indice ox	**indice moyen**
La Grosse Prise	Eh+AE/BPs	2,90	1,57	1,37	**1,95**
Les Saignolis (2)	Eh/BPs	0,71	0,44	0,09	**0,41**
Creux de l'Epral	E/BPs1	0,23	0,33	0,36	**0,31**
Les Pontins	Eh/BPs	0,22	0,18	0,22	**0,21**
Bois Raiguel	Eh/EBPsBPh	0,13	0,16	0,15	**0,15**
Les Saignolis (1)	E(h)(BPs)/BPs	0,13	0,20	0,13	**0,15**
Raimeux	E/BPs	0,25	0,08	0,05	**0,13**
Forêt des Ecorces	E/BPs1	0,01	0,03	0	**0,01**
La Vattay	E/BPs	0	0	0	**0**

Tableau 3: Indices d'entraînement du fer. L'indice moyen représente la moyenne arithmétique des indices calculés pour les extractions dans le tétraborate (tétra), le pyrophosphate (pyro) et l'oxalate (ox).

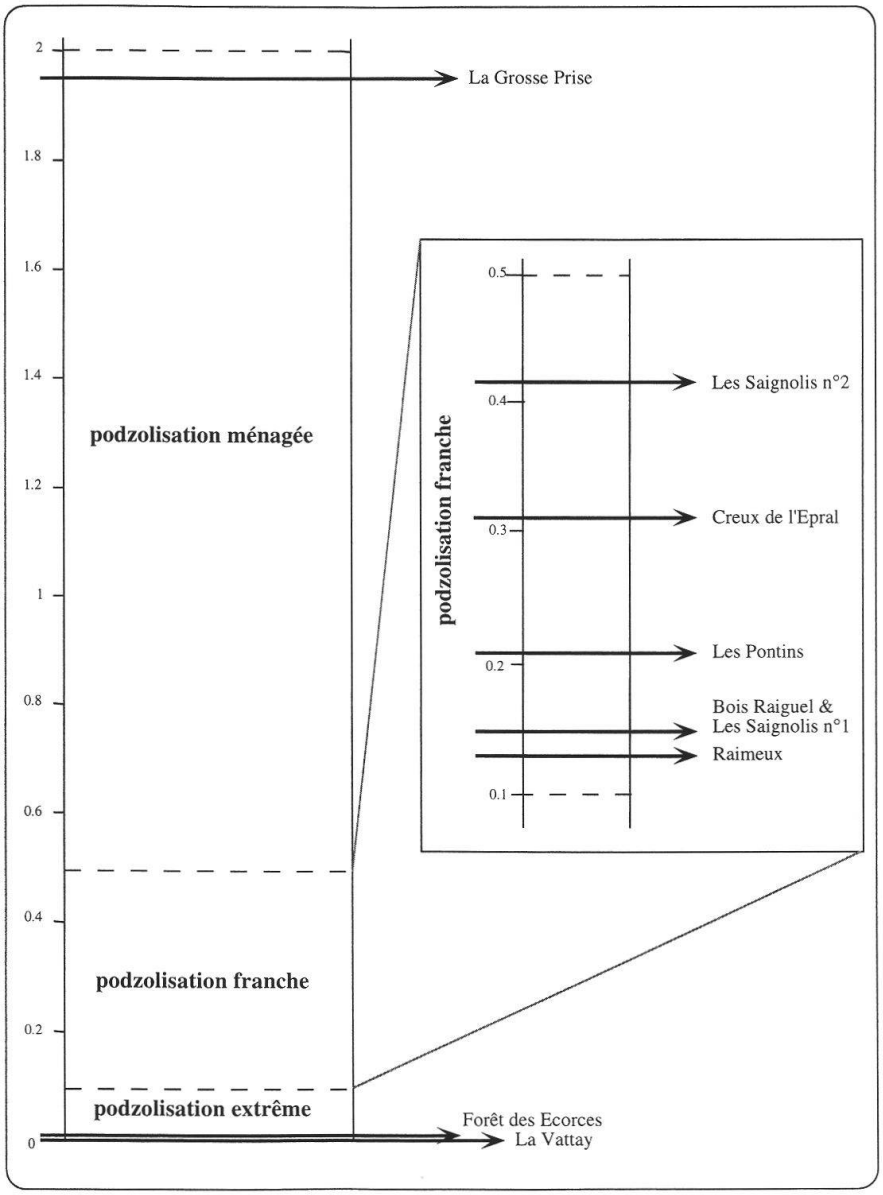


Figure 2: Gradient de podzolisation (en ordonnée) établi en fonction de l'indice d'entraînement moyen du fer (sols étudiés dans le présent travail). Les flèches rapportent au nom des sites.

La redistribution des complexes ferriques y est à peine amorcée puisque les horizons éluviaux Eh et AE, par ailleurs mal différenciés, sont plus riches que l'horizon principal d'accumulation BPs. Ce diagnostic confirme les observations réalisées sur le terrain, ce solum nous ayant tout de suite semblé morphologiquement moins différencié que les autres. La valeur très élevée de l'indice dans le tétraborate (tab. 3) indique cependant une formation importante de complexes mobiles du fer dans la zone éluviale. Ces composés étant les marqueurs de l'acidocomplexolyse, le sol se trouve dans une étape précoce de la podzolisation, où la redistribution des complexes labiles est encore modeste.

b) Une majorité de sols à **podzolisation plus ou moins marquée mais franche** (Les Saignolis, Creux de l'Epral, Les Pontins, Bois Raiguel, Raimeux)

Ce second ensemble contient les sols dont les indices d'entraînement globaux

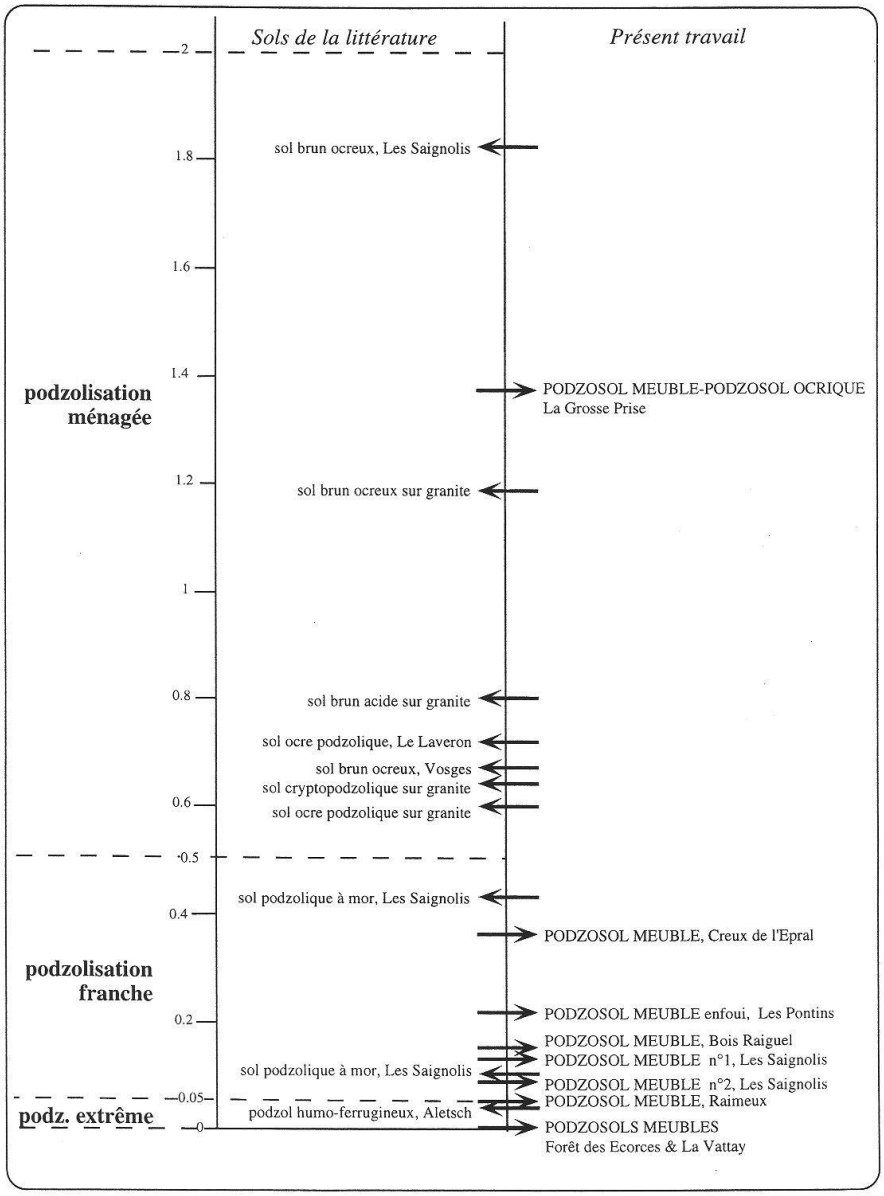


Figure 3:
Gradient de podzolisation (en ordonnée) établi en fonction de l'indice d'entraînement du fer amorphe (extrait par l'oxalate) (sols étudiés dans le présent travail et sols de la littérature). Les flèches rapportent à l'identité des sols.

Sol	Site	Référence	Horizons diagnostiques	indice ox
sol brun ocreux	Les Saignolis	BARTOLOME, 1990	A2(B) / B(t)s	1,82
sol brun ocreux	profil moyen sur granite	BRUCKERT, 1979	A1 / B	1,18
sol brun acide	profil moyen sur granite	BRUCKERT, 1979	A1 / B	0,80
sol ocre podzolique	Le Laveron	BRUCKERT & GAIFFE, 1980	A1 / Bs	0,72
sol brun ocreux	Vosges	BOUDOT, 1982	A1 / Bs	0,67
sol cryptopodzolique	profil moyen sur granite	BRUCKERT, 1979	A1 / Bs	0,64
sol ocre podzolique	profil moyen sur granite	BRUCKERT, 1979	A1 / Bs	0,60
sol podzolique à mor	Les Saignolis	BARTOLOME, 1990	A2 / Bs	0,43
sol podzolique à mor	Les Saignolis	BARTOLOME, 1990	A2 / BsC	0,10
podzol humo-ferrugineux	Aletsch	PATERNOSTER, 1984	A2 et A2Bh / BFeAl	0,04

Tableau 4: Indice d'entraînement du fer des sols de la littérature, calculé pour l'extraction dans l'oxalate (indice ox) (nomenclature des horizons selon DUCHAUFOUR, 1983).

sont situés entre 0,1 et 0,5. Dans chaque cas, les phénomènes de soustraction-redistribution du fer sont avancés. L'examen détaillé des indices spécifiques (tab. 3) met en évidence les particularités fonctionnelles propres à chaque situation.

A la tourbière des Saignolis, la migration du fer dans le sol n° 2 n'est pas très marquée pour les complexes mobiles et immobiles (éléments typiques de la podzolisation) alors que le sol n° 1 est "actif" pour les trois extractants. La topographie est la principale responsable de cette différence. Le sol n° 2 est en effet situé en bordure d'une doline, d'où un fort drainage de l'horizon d'accumulation et un indice plus élevé que dans le sol n° 1, sis sur un replat.

Le sol de la tourbière du Creux de l'Epral est surtout actif par le fer complexé mobile (indice tétraborate), ce qui confirme l'actualité de la podzolisation. A la tourbière des Pontins, les valeurs relativement homogènes dénotent une podzolisation effective mais qui n'est plus active depuis l'enfouissement assez récent du sol sous une couche limoneuse dont l'évolution s'oriente selon la même voie.

Le sol du Bois Raiguel présente une podzolisation active, particulièrement dans la redistribution des complexes du fer (indices pyrophosphate et tétraborate). A Raimeux, les petits indices pyrophosphate et oxalate attestent une importante redistribution, tandis que la faible valeur de l'indice tétraborate est la conséquence d'un changement de pédogenèse, intervenu probablement suite à l'accroissement de la charge minérale en surface (forte présence bovine).

c) Deux sols à **podzolisation extrême** (La Vattay, Forêt des Ecorces)

Les indices sont ici infimes, voire nuls. A la Forêt des Ecorces, l'horizon éluvial est très appauvri: les indices faibles (tab. 3) indiquent une podzolisation en phase finale. A La Vattay, l'évolution est achevée et le sol est stable puisqu'il ne présente plus aucun mouvement de matière chélatée.

Comme il n'a pas été possible d'obtenir toutes les données bibliographiques nécessaires au calcul de l'indice global d'entraînement, c'est l'indice relatif au fer amorphe (extraction à l'oxalate) qui a servi de base de comparaison avec la littérature. Le tableau 4 montre que ces sols se placent dans une suite évolutive logique (fig. 3): plus la podzolisation est marquée, plus la redistribution de complexes ferriques est importante. A l'exception de celui de la Grosse Prise, les sols du Jura se répartis-

sent dans les solums où la podzolisation est effective et non parmi les intergrades.

Des plantes sur un sol

Les phytocénoses étudiées correspondent au *Sphagno-Piceetum blechnetosum* de RICHARD (1961) et sont parfaitement fidèles, dans le Jura, aux PODZOSOLS. La pessière à blechnum existe sous deux formes: continue en bordure de tourbière ou en mosaïque et alternant avec la mégaphorbiaie. Dans les deux cas, on peut distinguer des niveaux d'organisation variant du mètre à la centaine de mètres, le sol subissant des contraintes identiques. A cet égard, les exemples extrêmes de La Vattay et de Raimeux mettent en évidence la variabilité de l'extension spatiale du phénomène de podzolisation ainsi que les relations étroites qui unissent le sol et la végétation.

Les couples pessière à blechnum–PODZOSOL, mégaphorbiaie-RÉDUCTISOL et pessière à bouleau-HISTOSOL constituent autant de duos étroitement liés dans leur fonctionnement et leur évolution. A l'échelle de temps de l'évolution pédologique habituelle, chacun est totalement indépendant de l'autre. En terrain plat, dans des conditions écologiques équilibrées ou sur un substrat "solide", il n'est pas envisageable de voir la myrtillaie et son PODZOSOL gagner peu à peu sur la mégaphorbiaie et son RÉDUCTISOL. Ce sont des systèmes indépendants.

En revanche, un type d'évolution pédologique particulier, la solifluxion, a été observé à La Vattay. Elle provoque le remplacement progressif, par de lents mouvements de terrain concernant plusieurs ares, du couple mégaphorbiaie-RÉDUCTISOL par le couple pessière à blechnum-PODZOSOL, ce dernier venant "glisser" par-dessus l'autre. Plusieurs sondages pédologiques (GOBAT & GALLANDAT, inédit) ont prouvé ce phénomène de lent rééquilibrage de l'ensemble de la forêt de La Vattay, dû probablement à la qualité particulière du substrat géologique (molasse rouge de La Vattay: FAVRE *et al.*, 1971; AUBERT, 1975; GILLET *et al.*, 1984). Le processus inverse est d'ailleurs aussi possible, dans lequel la mégaphorbiaie vient remplacer la pessière.

CONCLUSION

La pessière à blechnum constitue un milieu équilibré, mais d'une grande fragilité. Peu productive, elle résiste mal à la compétition (RICHARD, 1961). L'augmentation de la luminosité au sol, qu'elle soit d'origine anthropique (gestion sylvicole) ou non (catastrophe naturelle), engendre la prolifération des espèces herbacées de la mégaphorbiaie ou de la hêtraie en bordure de la phytocénose. Peu à peu, ces espèces très concurrentielles envahissent la pessière, induisant un ensemble végétal constitué de plantes acido-tolérantes à vitalité réduite et d'acidophiles. D'autre part, les caractéristiques extrêmes du milieu ne lui permettent guère de tamponner les atteintes qui lui sont portées. Le cas de Raimeux en témoigne: cantonnée à des surfaces très réduites, la pessière à blechnum y est en outre gênée dans son développement par la forte pression du bétail, qui s'exprime par l'abroutissement (destruction des herbacées et du recrû), le tassement du sol (hydromorphie induite dans les horizons de surface) et l'augmentation de la charge minérale (croissance d'espèces nitrophiles et modification des conditions de pédogenèse).

Parfait exemple des interactions sol-végétation (GOBAT *et al.*, 1998), les destins de la pessière à blechnum et du PODZOSOL sont intimement liés dans le Jura. Par leur rareté et le paradoxe qu'ils illustrent, ces fragments paysagers constituent des éléments précieux du patrimoine naturel de notre région. Suite aux dégradations que nous avons notées sur le ter-

rain, nous pensons que des mesures de protection immédiates sont indispensables à leur maintien à long terme.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient Jean-Daniel Gallandat et François Gillet de leur appui en phytosociologie, Claire Arnold pour la détermination des mousses, Edward Mitchell pour le résumé anglais, ainsi que Carlos Beck et Lidia Paganuzzi, du laboratoire d'analyses de l'Institut de géologie de Neuchâtel, de leur aide technique lors des analyses de sols.

BIBLIOGRAPHIE

AESCHIMANN, D. & BURDET, H.M. 1994. Flore de la Suisse et des territoires limitrophes. *Ed. du Griffon, Neuchâtel.*

AFES. 1995. Référentiel pédologique. *INRA, Paris.*

AUBERT, D. 1975. L'évolution du relief jurassien. *Eclog. Geol. Helv.* 68 (1): 1-64.

AUBERT , D., GRATIER, M. & POCHON, M. 1979. Livret-guide de quelques sols types du Haut-Jura et du pied du Jura. *Laboratoire de Pédologie, PED 4, EPF-Lausanne.*

BARTOLOME, B. 1990. Etude pédologique et phytosociologique de la tourbière des Saignolis (NE). *Trav. dipl., Labo. Ecol. vég., Univ. Neuchâtel.*

BONNEAU, M. & SOUCHIER, B. 1994. Pédologie 2: constituants et propriétés du sol. *Masson, Paris.*

BOUDOT, J.-P. 1982. Relations entre l'altération minérale et le cycle de l'azote sur matériel chloriteux du massif schisto-grauwackeux vosgien. *Thèse Univ. Nancy I.*

BOUYER, Y., MISEREZ, J.-J. & POCHON, M. 1978. Inventaire géochimique et bilan du fer dans le sol et les eaux du karst jurassien: état, importance, déplacements. *Laboratoire de Pédologie, PED 1, EPF-Lausanne.*

BRUCKERT, S. 1979. Classification des sols bruns ocreux et cryptopodzoliques par analyse des extraits tétraborates tamponnés à pH 9,5. *Geoderma* 22: 205-212.

BRUCKERT, S. & GAIFFE, M. 1980. Analyse des facteurs de formation et de distribution des sols en pays calcaire glaciaire et karstique. Plaine de Frasne – Bonnevaux et Montagne du Laveron – Jura central. *Ann. scientifiques Univ. Besançon, Biol. vég., 4ème série* (1): 19-67.

BUTTLER, A., CORNALI, P. & RICHARD, J.-L. 1983. La Tourbière des Pontins sur Saint-Imier. Phytosociologie, éléments d'écologie et perspectives d'aménagement. *Mat. Levé géobot. Suisse* Fasc. 59.

CHRISTEN, A.-M. & FRUTSCHI, C. 1987. Creux de l'Epral, étude phytosociologique et écologique d'une tourbière des Franches-Montagnes (JU). *Trav. dipl., Labo. Ecol. vég., Univ. Neuchâtel.*

DUCHAUFOUR, P. 1983. Pédologie 1: pédogenèse et classification. *Masson, Paris.*

FAVRE, GOMES-SILVA, HOSSIN, MICHEL & SIWERTZ. 1971. Saint-Claude, feuille géologique n° XXXIII-28 de la Carte géologique de la France au 1:50 000. *Bureau de recherches géologiques et minières, Service géologique national, Orléans.*

GILLET, F., LHOTE, P. & TRIVAUDET, M.-J. 1984. Etude cartographique de la végétation et des milieux naturels du Jura gessien. *Document interne, Fac. Sc. et techn. Univ. de Franche-Comté, Besançon.*

GILLET, F., DE FOUCAULT, B. & JULVE, P. 1991. La phytosociologie synusiale intégrée, objets et concepts. *Candollea* 46: 315-340.

GOBAT, J.-M. 1984. Ecologie des contacts entre tourbières acides et marais alcalins dans le Haut-Jura suisse. *Thèse Univ. Neuchâtel.*

GOBAT, J.-M., ARAGNO, M. & MATTHEY, W. 1998. Le sol vivant. *Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.*

GOBAT, J.-M. & HAVLICEK, E. 1996. Clé de sol. Principaux sols de Suisse. *Document interne, Labo. Ecol. vég., Univ. Neuchâtel.*

HAVLICEK, E. & 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 (3): 167-178.

KRAEHENBUEHL, C. 1968. Associations végétales du Jura bernois. *Actes Soc. jurass. Emul.* 71: 201-322.

MICHALET, R. & BRUCKERT, S. 1986. La podzolisation sur calcaire du subalpin du Jura. *Science du sol* 24 (4): 363-375.

PATERNOSTER, M. 1984. Dynamique de la colonisation des moraines latérales historiques du grand glacier d'Aletsch par des groupements végétaux pionniers. Pedogenèse initiale. *Bull. Murithienne* 100: 65-78.

RICHARD, J.-L. 1961. Les forêts acidophiles du Jura, étude phytosociologique et écologique. *Mat. Levé géobot. Suisse* Fasc. 38.

ROUILLER, J. 1981. Analyses des sols, techniques de laboratoire. *Centre de pédologie biologique, CNRS, Nancy. Note technique* n° 32.

SOUCHIER, B. 1984. Les podzols et la podzolisation en climats tempérés et montagnards. *Livre jubilaire du cinquantenaire de l'AFES*, p. 77-96.