

# MITOC-MALU GALBEN : ÉTUDE GÉOPEDOLOGIQUE

Judit BECZE-DEÁK, Georges STOOPS & Roger LANGOHR

## Introduction

L'étude pédologique du site est limitée aux unités lithostratigraphiques suivantes: unité 10 (partie supérieure), unité 9, unité 8, unité 7 et unité 6 (partie inférieure) (fig. 1). Cinq sections ou chrono-séquences pédo-sédimentaires, appelées ici "profils", ont été étudiées plus en détail (P1, P1A, PIC, P1D, P2), sur le terrain et en laboratoire. La figure 1 indique la position de ces profils. Les échantillons non remaniés prélevés sur le terrain ont d'abord été étudiés au moyen du stéréo-microscope (niveau mésomorphologique), ce qui permet de garder une vue tri-dimensionnelle. En fonction de ces ob-

servations, certains fragments ont été imprégnés pour la préparation de lames minces qui ont été étudiées au microscope pétrographique (niveau "micro-morphologique"). Quelques analyses complémentaires ont été effectuées.

## Discussion générale des caractéristiques pédologiques des profils

### Horizons humifères

Les horizons humifères sont en général très faiblement développés. L'horizon inférieur (voir description de PIC en

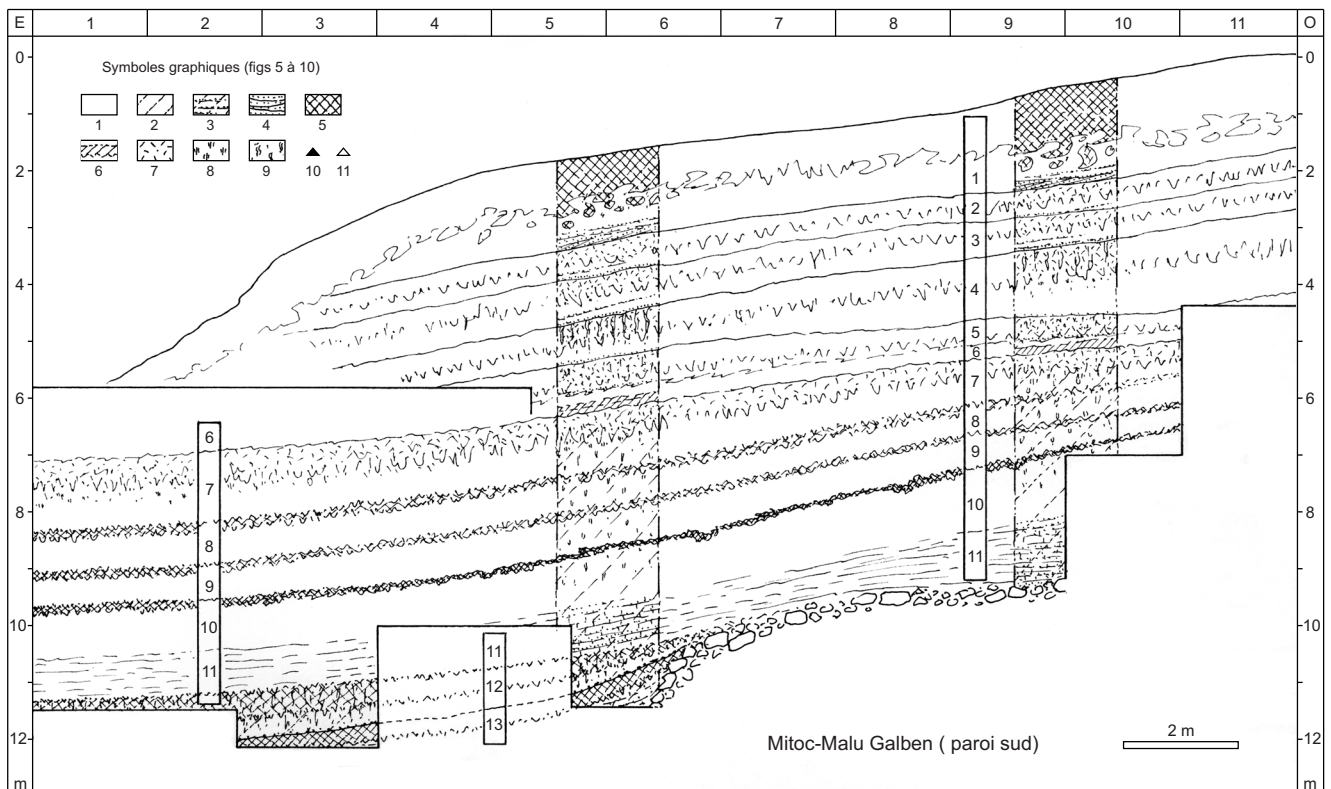


Figure 1.

Hor. symbole	Profondeur (cm)	TEXTURE (%)											Densité apparente (g/cc)		Porosité totale (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	
		T argile	T limon	T sable	L.f.	L.m.	L.g.	S.t.f.	S.f.	S.m.	S.g.	S.t.g.	terrain	lab.			
b1.C	50													1,43			
b1.C	80	14,8	48,1	37,1	9,9	7,7	30,5	27,7	9,1	2,4	0,0	0,0	1,44	1,55	44	0	
b2.(A)	104												1,43				
b2.C	137												1,45				
b3.(A)	160	15,4	42,7	42,0	8,3	6,5	27,9	27,2	14,0	0,9	0,0	0,0	1,50	1,60	40	0	
b3.C	185												1,47				
b4.A	205-225	16,3	44,1	39,6	9,6	8,2	26,3	26,6	11,9	0,9	0,0	0,0	1,53-1,49	1,43	40	0	
b4.C	265	15,2	43,2	41,5	9,2	7,9	26,1	26,3	14,2	0,9	0,1	0	1,54	1,61	38	0	

Tableau 1.

I/H-7 et de P1 en D-9/10) est le seul à montrer localement un caractère très humifère (pl. 1:a). Les limites inférieures et supérieures de tous ces horizons sont très diffuses.

### Texture

Les cinq profils étudiés ont une texture très semblable. Comme référence, le tableau 1 donne la composition granulométrique de la partie inférieure de la séquence étudiée.

### Morphologie de la fraction sableuse

La fraction grossière (sables) est surtout composée de grains angulaires et sub-angulaires.

### Minéralogie

L'ensemble des cinq séquences pédosédimentaires sont non calcaires. Toutefois, des carbonates secondaires sont localement présents, d'où la nécessité de précautions lors de l'interprétation des données analytiques. Des sédiments calcaires se trouvaient dans des parties plus profondes, et apparemment plus argileuses, que les profils étudiés. À ce niveau, on peut observer des nodules calcaires qui atteignent un diamètre de 10 cm. Du lœss calcaire se trouve également dans des parties plus hautes de la lithostratigraphie (unités lithostratigraphiques 3 et 2, fig. 1).

La minéralogie de la fraction sableuse est très semblable pour tous les profils. Le quartz domine (85-90%). Comme autres minéraux, on a pu observer: feldspaths, glauconite, muscovite, biotite, zircon.

### Accumulations secondaires

#### Carbonates secondaires

Sur l'ensemble des sections étudiées, les accumulations secondaires de carbonates de calcium sont rares. Toutefois, plusieurs types de carbonates secondaires ont été observés: hypo-revêtements (accumulation dans la matrice du sol et le

long des bio-galeries: pl. 1:c-e), revêtements (accumulation sur la paroi des pores) micritiques (cristaux très fins) et des remplissages de pores également micritiques, des racines calcifiées, partiellement dissoutes, et des concrétions plus grandes, plus ou moins verticales, du type "poupées de lœss". Ces dernières ont une longueur de 3-4 cm et se trouvent uniquement dans la partie inférieure de la séquence étudiée ici (la séquence avec les 3 horizons humifères au niveau des unités lithostratigraphiques 10, 9, 8 et 7; voir fig. 1) et encore seulement au niveau des profils situés à la partie inférieure de la pente (profils P1, P1A et P1C; fig. 1). Les hyporevêtements et les revêtements micritiques ont été observés à travers toute la séquence étudiée.

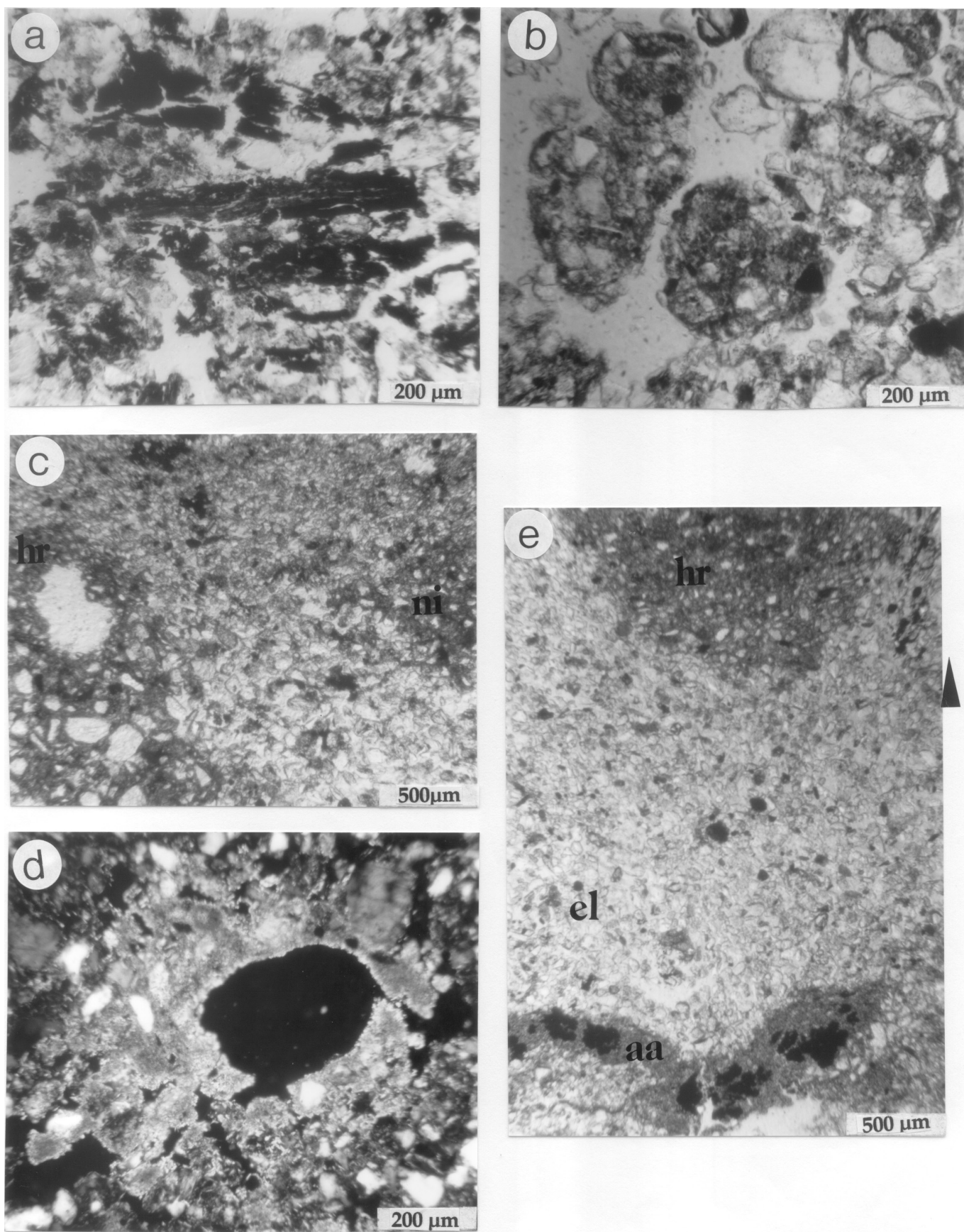
### Gypse

Sur le terrain, des accumulations de gypse (pl. 2:a-b) ont été détectées dans la partie inférieure des profils P1, P1A et P1C, ce qui correspond également à la partie inférieure de la séquence étudiée. PID, dans la même unité stratigraphique mais situé plus haut le long de la pente, ne montrait pas ces accumulations. À l'échelle micromorphologique ces nodules de gypse présentent des inclusions de matériaux plus grossiers, indiquant une formation au sein de la matrice du sol et pas dans des pores. La morphologie de ces cristaux ressemble à celle observée dans les régions moins arides.

### Pseudomorphe calcitique de gypse

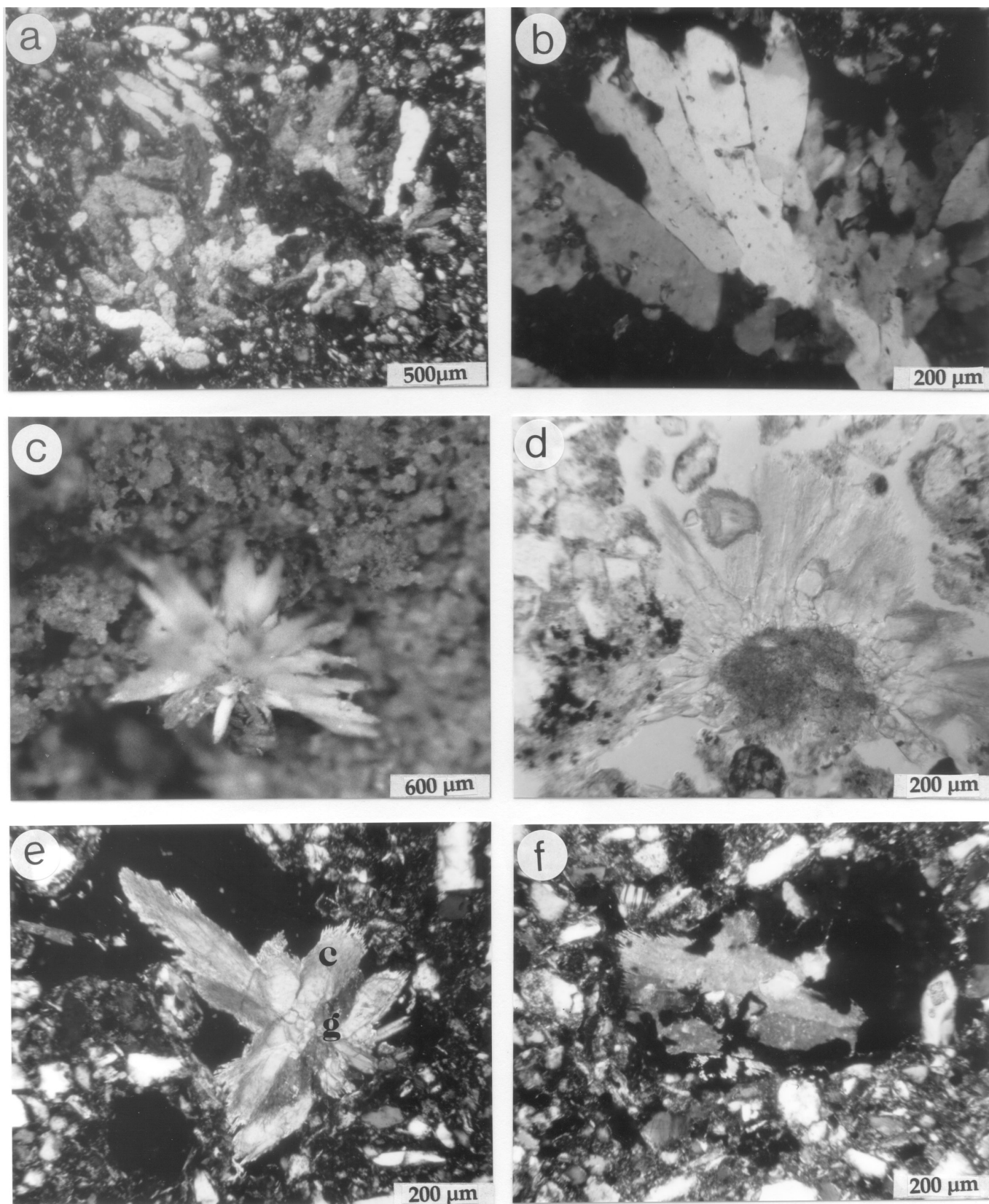
À l'échelle du stéréomicroscope, des cristaux, d'un blanc éclatant et en forme de rosette, tubulaires ou équidimensionnelles et avec un diamètre allant jusqu'à 3-4 mm, ont été observées à travers toute la séquence (pl. 2:c). En général, elles sont composées de cristaux lenticulaires et présentent des bords en dents de scie (pl. 2:d-f).

Souvent les cristaux d'un blanc éclatant réagissent à l'acide. Ils sont souvent couverts par des revêtements de manganèse. Au niveau du microscope pétrographique, ces derniers cristaux montrent des couleurs d'interférence élevées, semblables à la calcite. La forme et les autres caractéristiques de ces



**Planche 1.** [L.N. : lumière normale; L.P. : lumière polarisée]. a, horizon très humifère avec fragments de charbons de bois [P1, H b4.A (L.N.)]; b, microstructure microgranulaire de bioturbation [P1, H b2.(A) (L.N.)]; c, hypo-revêtement de  $\text{CaCO}_3$  (hr) et nodule d'imprégnation de  $\text{CaCO}_3$  (ni). Remarquer les traces de stratifications [P1A, H b2.C (L.N.)]; d, le long d'un pore, hypo-revêtement de  $\text{CaCO}_3$  [P1, H b2.(A) (L.P.)]; e, eluviation (el) et accumulation d'argile (aa) associées avec le foyer gravettien. "hr" correspond à un hypo-revêtement de  $\text{CaCO}_3$  subséquent. La flèche montre l'orientation des échantillons [P2, niveau Gr. II. (L.P.)]





**Planche 2.** a, nodule de gypse [P1A, H b2 (A) (L.P.)]; b, détail de 2a (L.P.); c, rosette de pseudomorphe calcitique de gypse (microscope stéréoscopique); d, rosette de pseudomorphe calcitique de gypse [P1, b4.C (L.N.)]; e, transformation partielle de gypse en calcite. La partie extérieure (c), en dent de scie, a été transformée en  $\text{CaCO}_3$ . La partie intérieure (g) montre plus de caractéristiques du gypse [P1, H b3.(A) (L.P.)]; f, pseudomorphe calcitique de gypse isolé. Remarquer les inclusions des autres minéraux et la préservation de la mâcle [P1, H b1.C (L.N.)].

cristaux suggèrent qu'ils correspondent à des pseudomorphes calcitiques de gypse. Cette interprétation est étayée par l'analyse à la microsonde qui indique la présence de soufre dans ces cristaux.

### Structure

La structure du sol indique une forte bioturbation à travers l'ensemble des profils étudiés (pl. 1:b). On n'observe pas de différence notable entre les horizons humifères et non humifères. La structure est surtout composée de nombreux biopores de moins d'un millimètre de diamètre et d'agrégats microgranulaires qui sont à 40-60% complets. Localement, surtout le long des crotoines (grands biopores remplis de terre), ces agrégats peuvent-être à 100% complets (c'est-à-dire bien individualisés).

Au stéréomicroscope quelques zones plus massives (sans aggrégation) ont été détectées (voir plus loin). Sur le terrain, quelques biogaleries jusqu'à un diamètre de 10 cm ont été observées au niveau des unités stratigraphiques 10, 9 et 8 (voir figure 1 pour la position de ces unités). De nombreuses bio-galeries, plus petites, sont détectées au niveau méso-morphologique et quelques traces sont également visibles dans les lames minces.

### Densité apparente

Les chiffres de la densité apparente (tabl. 1), mesurés pour le profil P1 en I/H-7, sont plus élevés que ceux que l'on pourrait attendre d'un sol bien bioturbé (valeurs normalement inférieures à 1,4 g/cm<sup>3</sup>). Il semble donc qu'une certaine compaction ait eu lieu au niveau des sols enterrés.

### Les taches bleuâtres ("E")

Dans les descriptions, le symbole "E" indique, dans les séquences étudiées, la présence de taches légèrement bleuâtres, avec un diamètre jusqu'à 8 cm. Au niveau méso- et micro-morphologique, elles correspondent à des zones plus ou moins sphériques de sable dense, et se caractérisent également par l'absence de matériaux plus fins (limon, argile). Elles sont interprétées ici comme étant des zones d'éluviation d'argile et de fer lié à l'argile. Il est important ici de noter qu'il ne s'agit donc pas d'une caractéristique rédoximorphique (lié à une nappe phréatique).

### Accumulations d'argile ("Bt")

Le symbole "Bt" indique la présence, détectée au microscope pétrographique, de revêtements argileux. Ces revêtements sont ici fins et poussiéreux (non limpides). Ils sont surtout associés aux horizons à "taches bleuâtres" et sont le plus communs au niveau de la partie supérieure de la séquence étudiée, et dans les profils P1D en J/L-9 et P2 en L/M-6 (fig. 1).

L'association de zones d'éluviation et d'illuviation d'argile semble indiquer des conditions particulières de dispersion et de flocculation des colloïdes. Il semble qu'il y ait une corrélation avec la position dans la stratigraphie: elles sont plus

abondantes et plus étendues dans les profils P1D et P2, situés dans la partie supérieure de la pente.

### Le profil P1 (paroi sud en I/H-7) (tabl. 2)

Le complexe pédosédimentaire qui contient 3 horizons humifères a été échantillonné au niveau de ce profil. Les deux horizons humifères supérieurs (b2.(A) en 8a et b3.(A) en 9a) sont très peu développés. L'horizon inférieur (b4.(A) en 10a) par contre est, surtout dans la partie inférieure, fortement humifère; à l'échelle microscopique, il se caractérise par la présence de nombreux fragments de **charbon de bois** et de fragments, jusqu'à 1 mm de diamètre, de **bois** légèrement ou non décomposés (pl. 1:a). Sur le terrain, un **galet** de 10 cm et quelques **graviers** de 1-4 cm de diamètre ont été observés, principalement dans les trois horizons inférieurs. Très peu de ces graviers montrent des **coiffes de sol**, une caractéristique pour du gel/dégel dans un environnement humide.

**Structure.** Tous les horizons ont une structure comme celle décrite dans l'introduction, excepté l'horizon b3.C en 9b, qui semble dans la majeure partie plus massive (pl. 1:b).

**E.** Quelques taches bleuâtres, jusqu'à 1mm de diamètre, surtout dans la partie supérieure.

**Bt.** Très peu de revêtements argileux poussiéreux sur les surfaces des agrégats, seulement observables en lames minces.

**Gypse.** Nodules en forme de rosette, 1 à 3 cm de diamètre; plus abondants dans la partie inférieure, plus humifère (b4.A en 10a). Localement, du gypse se présente, par accumulation dans des pores, sous forme plus tubulaire, de quelques millimètres jusqu'à 1 cm de long.

**Hypo-revêtements de CaCO<sub>3</sub>.** Assez communs dans les horizons supérieurs (pl. 1:d); dans l'horizon inférieur, seulement observé en lame mince.

### Le profil P1A (paroi sud en I/H-7) (tabl. 3)

Dans ce profil, un échantillonnage a été opéré au niveau des mêmes unités stratigraphiques que celles du profil 1. La continuité des horizons humifères a ainsi été suivie le long de la pente. L'horizon humifère inférieur b4.(A) en 10a est nettement moins riche ici en matière organique par rapport au profil P1. A l'échelle microscopique, les fragments de **charbon de bois** et de **bois** n'ont pas été observés ici. Les quelques traces de **stratification**, non observées sur le terrain au niveau de l'horizon b2.C en 8b, ont été reconnues au niveau microscopique.

**Structure** (voir tableau). Les horizons b3.(A) en 9a et b3.C en 9b semblent plus massifs que les autres horizons de ce profil; ceci malgré la présence d'abondantes biogaleries et localement une structure en microagrégats.

**E.** Ce profil est caractérisé par la présence plus commune des taches "bleuâtres". Elles ont un diamètre de quelques millimètres dans les 130 cm supérieurs et jusqu'à 8 cm de

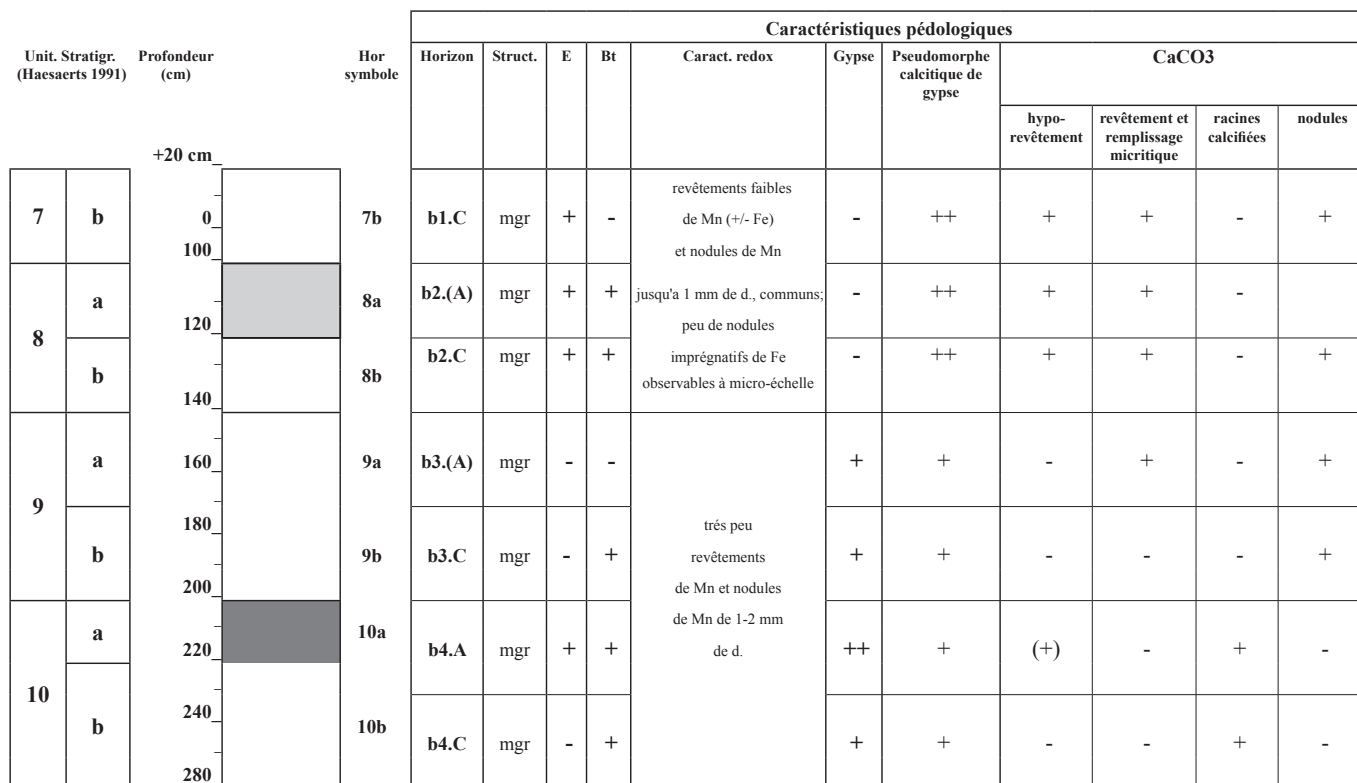


Tableau 2. Profil P1 (paroi sud en I/H-7).

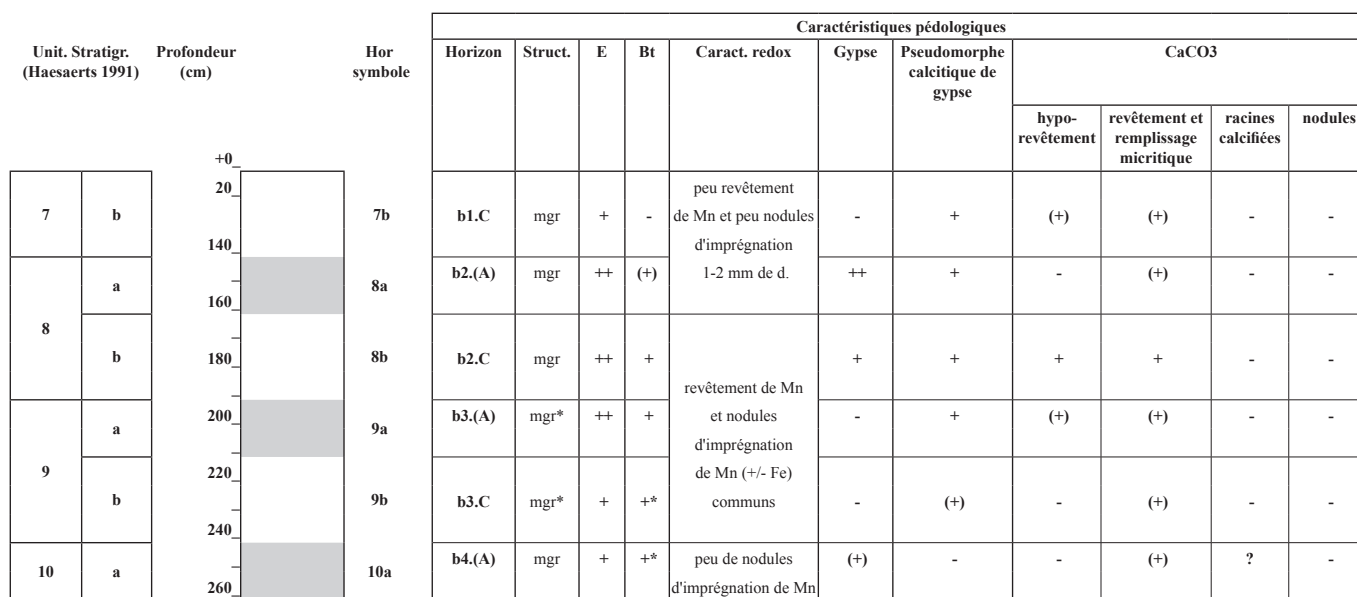


Tableau 3. Profil P1A (paroi sud en I/H-7).

diamètre entre 130 et 200 cm de profondeur. Plus bas, elles ont un diamètre jusqu'à 2 cm. Une de ces taches, échantillonnée à environ 175 cm de profondeur, présente les mêmes caractéristiques que celles décrites dans les "commentaires généraux", mais est croisée par de nombreuses biogaleries. Une imprégnation orange est associée à la plupart de ces galeries.

**Bt** (voir tableau). Quelques fragments plus argileux ont été observés à l'échelle microscopique.

### Le profil P1C (paroi ouest en D-10/9) (tabl. 4)

L'horizon humifère inférieur (b4.A en 10a) et l'horizon sous-jacent ont été échantillonnés dans le but d'étudier leur variabilité latérale. Dans ce profil (position indiquée en figure 2), l'horizon humifère inférieur est également clairement visible et montre une grande similitude avec ce niveau dans le profil P1. Quelques **graviers**, jusqu'à 2 cm de diamètre, ont été observés à travers tout le profil. À part la présence des **tâches bleuâtres**, la séquence échantillonnée ici est très similaire à celle du profil P1.

Unit. Stratigr. (Haesaerts 1991)	Profondeur (cm)	Hor symbole	Caractéristiques pédologiques										
			Horizon	Struct.	E	Bt	Caract. redox	Gypse	Pseudomorphe calcitique de gypse	CaCO <sub>3</sub>			
										hypo-revêtement	revêtement et remplissage micritique	racines calcifiées	nodules
10	0-20	10a	b4.A	mgr	+	-	revêtement	++	+	+	+	(+)	+
	20-60	10b	b4.C	mgr	+	-	faible de Mn (+/- Fe); peu à commun le long des chenaux	++	+	-	-	-	+

Tableau 4. Profil P1C (paroi ouest en D-10/9).

Unit. Stratigr. (Haesaerts 1991)	Profondeur (cm)	Hor symbole	Caractéristiques pédologiques										
			Horizon	Struct.	E	Bt	Caract. redox	Gypse	Pseudomorphe calcitique de gypse	CaCO <sub>3</sub>			
										hypo-revêtement	revêtement et remplissage micritique	racines calcifiées	nodules
8	0-20	8a	b2.(A)	mgr	+	+	nodules de Mn, jusqu'à 3 cm d.;	-	(+)	-	(+)	(+)	-
	20-40	8b	b2.C	mgr	++	+	nodules de Fe communs	-	+	-	+	(+)	-
9	40-80	9a	b3.(A)	mgr	+	(+)	jusqu'à 1 mm d. (très peu)	-*	(+)	-	+	-	-
	80-120	9b	b3.C	mgr	+	(+)	peu de nodules d'imprégnation de Mn, gén. moins de 1 cm d. et très peu de nodules de Fe (1-2 mm d.)	-*	-	-	-	(+?)	-
10	120-140	10a	b4.(A)	mgr	(+)	(+)		-*	-	-	(+)	(+)	-
	140-160	10b	b4.C	mgr	(+)	(+)		-*	(+)	-	(+)	-	-

Tableau 5. Profil P1D (paroi ouest en J/L-9).

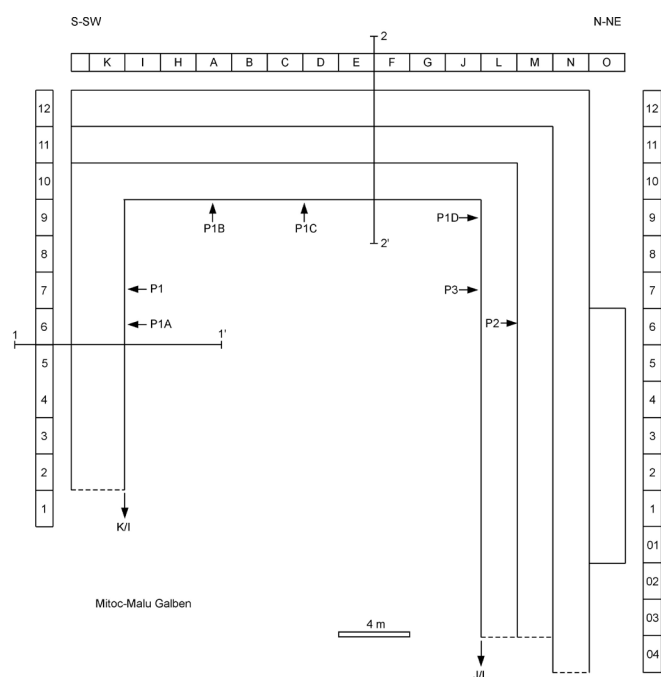


Figure 2. Localisation des sondages.

**Structure.** Les deux horizons ont connu une forte bioturbation avec des microagrégats qui sont à 80-90% complets.

**E.** Quelques taches, arrondies, bleuâtres de 2-4 cm de diamètre ont été observées sur le terrain au niveau des deux horizons. Ces taches n'ont pas été détectées au niveau de l'échelle méso- et microscopique (problème de la taille des échantillons observés sous microscope).

### Le profil P1D (paroi ouest en J/L-9) (tabl. 5)

Les unités stratigraphiques du profil P1D ont été échantillonnées dans une position plus élevée le long de la pente (fig. 1). Tous les horizons s'inclinent fortement vers l'ouest. Les horizons humifères sont très peu développés ici; aucun n'a une forte accumulation d'humus. Le substrat de roche calcaire se situe à environ 1 m sous la partie inférieure du profil. Des **fissures verticales**, ouvertes, 1 à 3 mm de large, venant de plus haut, traversent tous les horizons. Localement, ces fissures sont croisées par d'autres fissures, de 2 à 4 mm de large, qui sont remplies d'un sédiment cimenté par du CaCO<sub>3</sub> et qui contient probablement du manganèse. Cette deuxième série de fissures provient également des horizons supérieurs à la séquence échantillonnée. Une coupe



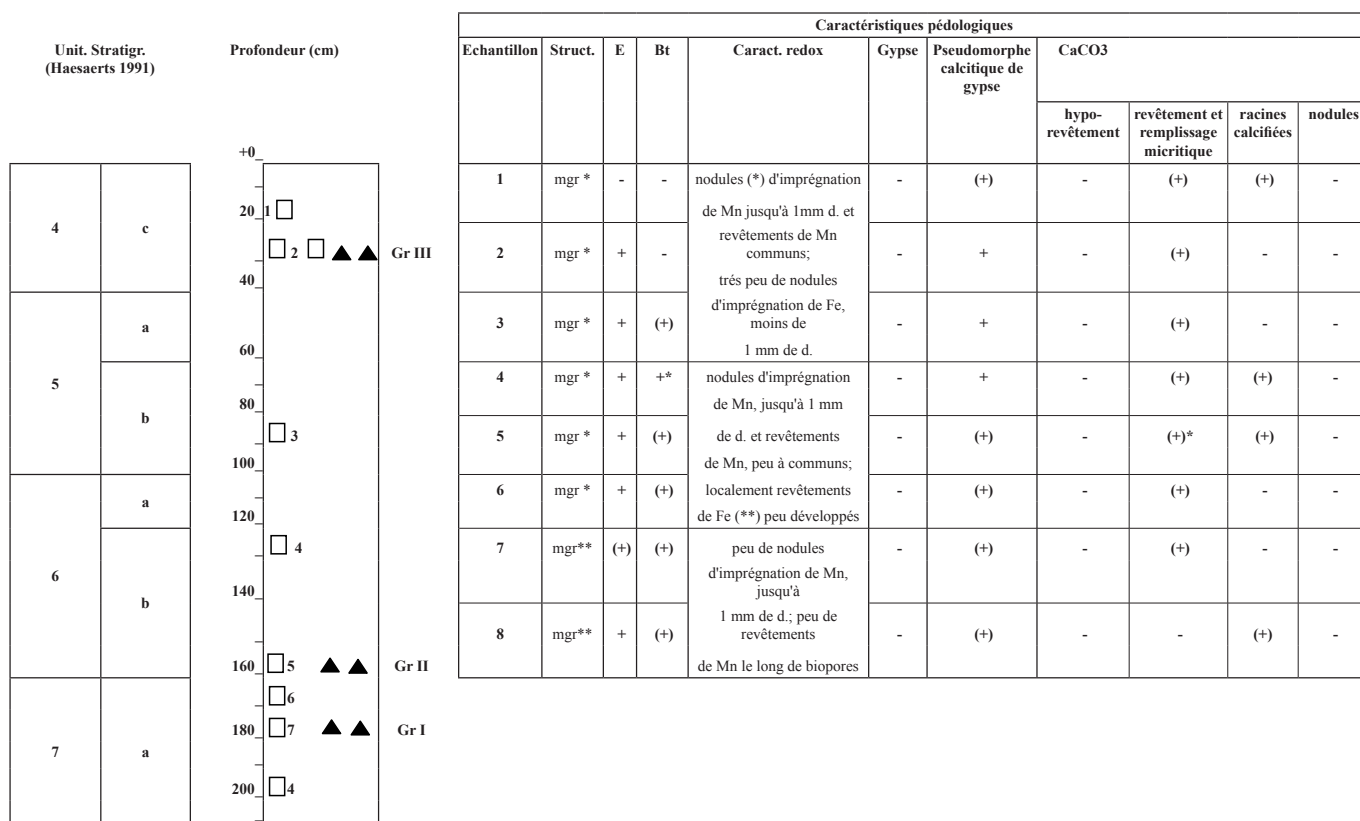


Tableau 6. Profil P2 (paroi nord en L/M-6).

horizontale, pratiquée à 50-60 cm au-dessus du profil, montre que toutes ces fissures suivent un réseau polygonal d'un diamètre d'environ 1 m. Cette coupe horizontale montre également une troisième type de fissure, avec une imprégnation de fer le long des parois, et qui coupe les deux autres générations.

**Structure.** L'échelle stéréoscopique révèle une structure granulaire plus complète (60-70%) dans la partie inférieure (b4. C en 10b et b4.(AZ) en 10a.), comparée à la partie supérieure (30-40% complet) du profil.

**E.** Des taches bleuâtres d'un diamètre jusqu'à 3 cm, ont été observées à travers tout le profil. À l'échelle stéréoscopique, elles paraissent plus abondantes jusqu'à une profondeur de 120 cm et plus petites (quelques millimètres de diamètre) et moins abondantes plus bas dans le profil. Une de ces taches est clairement associée à un pore tubulaire. Localement, ces taches éluviales ont été plus tard partiellement imprégnées par du manganèse et du CaCO<sub>3</sub> fin, micritique.

**Gypse** (voir tableau). Du gypse n'a pas été détecté sur le terrain. À l'échelle du stéréomicroscope, quelques pores de 1-3 cm de diamètre ont été observés, qui correspondent probablement à des traces de dissolution de cristaux de gypse. Cette structure ressemble beaucoup aux nodules de gypse observés dans le profil P1A.

**Racines calcifiées.** Très peu de ces racines sont bien préservées. La plupart sont partiellement dissoutes. On peut les reconnaître grâce à leur forme et leur distribution.

## Le profil P2 (paroi nord en L/M-6) (tabl. 6)

Ce profil a pour but d'échantillonner une partie du complexe pédosédimentaire qui se trouve au-dessus de la séquence avec les 3 horizons humifères (profils 1, 1A, 1C, 1D). La figure 1 en donne la position stratigraphique. Ce profil est caractérisé par la présence de trois couches horizontales de **fragments de silex**, désignées GrI, GrII et GrIII (Haesaerts 1993) et qui correspondent à des traces d'ateliers de préparation d'outils de la culture gravettienne. En dehors de ces couches, quelques rares fragments de silex ont été observés à travers tout le profil. À cause de la sécheresse du sol, il n'a pas été possible de détecter si ces fragments de silex ont des **coiffes de sol**. À 2 m du profil étudié, un foyer a été échantillonné au niveau de la seconde couche gravettienne (GrII) (pl. 1:e). Les caractéristiques observées à ce niveau ont été incluses dans l'enregistrement de ce profil P2.

Sur le terrain, aucune **horizonation** claire ne pouvait être détectée. Ainsi, l'échantillonnage a été fait en fonction de la position des couches gravettiennes. Les données du tableau correspondent aux échantillons indiqués sur l'esquisse du profil.

Un **réseau de fentes**, comme décrit dans le profil P1D, a été observé à un niveau correspondant à la première couche de silex (GrI).

Aucune trace évidente de couche humifère n'a été détectée. Au niveau microscopique, les échantillons 4 et 5 ont pourtant montré la présence de quelques fragments de sol humifère.



**Structure** (voir tableau). La partie supérieure de la séquence est plus massive; les biopores y sont communs et la structure granulaire est seulement complète à 30 à 40%. La partie inférieure de la séquence est clairement plus bioturbée. L'échelle stéréomicroscopique montre de nombreux biopores et une structure granulaire complète en général jusqu'à 80%.

**Bt** (voir tableau). Un revêtement argileux brun est présent le long d'une large biogalerie. Un revêtement de manganèse couvre l'argile.

**Oxydo-réduction** (voir tableau). Imprégnation de manganèse du matériau qui traverse les taches bleuâtres dans l'échantillon 3. Dans l'échantillon 6, des revêtements de fer peu prononcés sont communs le long des biopores de moins de 1 mm de diamètre. Des pores avec un revêtement de fer, peu développé, traversent les taches bleuâtres dans l'échantillon 4.

**Hypo-revêtement de CaCO<sub>3</sub>**. L'échantillon du foyer gravettien montre des hyporevêtements de CaCO<sub>3</sub> qui semblent plus récents que le feu.

**Revêtements micritiques de CaCO<sub>3</sub>**. Ces revêtements couvrent certains "coatings" de manganèse situés dans des biopores.

## Discussion

Du point de vue sédimentologique et minéralogique, la séquence étudiée est très semblable dans son ensemble. Il est probable que les sédiments étaient non calcaires au moment du dépôt. Leur position régionale, toujours sur les mêmes flancs des collines (Vasile Chirica communication personnelle), pointe vers une origine éolienne. Toutefois, la prédominance de limons grossiers et de sable fin (données micromorphologiques et analytiques) et la forme angulaire à sub-angulaire des grains suggère un transport à courte distance. La présence de quelques graviers et fragments de silex indique une influence possible de processus colluviaux au cours du dépôt des sédiments, avant la stabilisation finale.

Le complexe pédo-sédimentaire étudié est caractérisé, à travers toute la séquence, par la présence de nombreuses traces de bioturbation. La partie inférieure de la séquence (échantillonnée en P1, PA, P1C et P1D) montre 3 phases de légère stabilisation, caractérisées par une légère accumulation humifère. Ces phases de stabilisation ont été suivies par un apport très lent de nouveaux sédiments, comme le montrent leur limites supérieures diffuses. L'étude au stéréomicroscope montre une bioturbation fort semblable à travers tout l'ensemble étudié. On ne note pas de différence entre les horizons humifères et les horizons non humifères. Ceci est confirmé par les données de la densité apparente, qui ne montrent pas de différence significative entre ces divers types d'horizons (tabl. 1).

L'absence de stratification et les traces de bioturbation suggèrent un apport lent, mais quasi continu, de sédiments. Les horizons faiblement humifères indiquent des périodes très

courtes de stabilisation et/ou des conditions d'environnement peu favorables à la production d'humus (trop froid et/ou trop sec).

On n'a pas su détecter de traces d'arbres déracinés, ni de grosses racines. Ceci semble indiquer que la végétation était plutôt du type steppique, avec éventuellement des buissons.

Au niveau des trois horizons légèrement humifères (unités lithostratigraphiques 10a, 9a et 8), l'horizon inférieur montre des taches plus riches en matière organique. Les lames minces montrent à ce niveau des concentrations de petits (< 1 mm) fragments de charbon de bois et de matière organique non décomposée. Comme ces taches se trouvent en dehors des zones de combustion, on peut supposer qu'il s'agit ici de feux naturels, probablement de graminées et de buissons, dont les cendres ont été assez vite enterrées. Ces feux ne devaient pas être très intenses, puisqu'on ne détecte pas de traces de terre cuite.

Dans la partie supérieure de la séquence étudiée (profil P2), aucune trace de stabilisation n'a été détectée sur le terrain (pas d'horizon plus humifère). Toutefois, les observations au stéréomicroscope montrent une plus forte bioturbation dans la partie inférieure de l'unité 6b (voir description du profil P2). L'absence de stratification et la présence de couches à silex gravettiens suggère ici aussi un apport quasi continu de sédiment sur une surface couverte par de la végétation.

## Évolution de l'environnement au cours et après la mise en place du complexe pédo-sédimentaire étudié

- À part des coiffes de terre peu développées sur les fragments lithiques, aucune trace particulière de gel/dégel n'a pu être détectée à travers toute la séquence étudiée. Ceci pourrait être attribué à un environnement relativement sec, une porosité assez importante et une activité de bioturbation intense. Le système de fissures profondes, ouvertes ou remplies de CaCO<sub>3</sub> ou de fer cimentés, qui traversent la séquence, sont probablement liés à une période avec permafrost. Ces fissures semblent débiter à partir des complexes pédo-sédimentaires supérieurs. D'après les figures de Haesaerts (1993), au moins une partie de ces fissures débute à partir du second niveau gravettien. Ceci correspond à la partie inférieure, plus bioturbée, de l'unité échantillonnée dans le profil 2.

- L'absence de caractéristiques rédoximorphiques dominantes, malgré la nature non calcaire du complexe (réduction du fer et du manganèse plus faciles), indique l'absence de nappes perchées, stagnantes avec conditions anoxiques (absence d'oxygène) au cours de longues périodes. La présence, à l'échelle microscopique, de revêtements et de nodules de manganèse à travers toute la séquence indique toutefois qu'il y a eu des périodes à saturation en eau temporaire, probablement avec écoulement latéral suivant la pente et perché sur un permafrost.

- La présence de gypse et/ou de pseudomorphoses calcitiques de gypse, montre que l'environnement était non lessivant et

semi-aride pendant au moins une période initiale. L'omniprésence de bioturbations indique toutefois que les conditions n'étaient pas sévèrement ou continuellement très sèches.

- La présence de carbonates secondaires (hypo-revêtements, revêtements et remplissages micritiques, racines calcifiées partiellement dissoutes et concrétions tubulaires) dans une matrice non calcaire peut être expliquée par un écoulement vertical ou latéral d'une eau saturée en calcaire. Les couches archéologiques gravettiennes et aurignaciennes sont caractérisées par la présence d'os friables entourés d'une épaisse couche de carbonates secondaires (Vasile Chirica communication personnelle). La lame mince du foyer gravettien suggère que les "hypocoatings" se sont développés après le feu. Toutes ces observations semblent indiquer que les carbonates secondaires sont liés à la percolation d'eau saturée en  $\text{CaCO}_3$  provenant des dépôts loessiques, calcaires, postérieurs, c'est-à-dire d'origine diagénétique. Ceci n'exclut pas l'existence d'un certain écoulement latéral au cours de la période où les sols n'étaient pas encore enterrés.

- Des pseudomorphoses calcitiques de gypse (généralement en forme de rosettes, rarement avec des cristaux individuels) ont été observées à travers toute la séquence étudiée. Elles sont plus communes et un peu plus grandes dans la partie supérieure de la séquence, où il n'y a plus de restes de gypse. Elles sont moins communes et plus petites dans la partie inférieure de la séquence, où des rosettes de gypse sont encore présentes. La transformation du gypse en calcite a été expliquée et prouvée expérimentalement par une activité bactérienne dans des conditions de réduction (Lattman & Laufenburger 1974). Dans le complexe pédo-sédimentaire de Mitoc, où les traces d'activité biologique sont très nombreu-

ses, une activité bactérienne est très plausible. Les traces de conditions, au moins temporaires, de réduction (revêtements et nodules de manganèse à travers l'ensemble des couches) étayaient cette hypothèse. Le gradient de présence/absence des accumulations secondaires de gypse, de calcite et de leurs pseudomorphoses, n'exclut toutefois pas l'influence des processus physico-chimiques de dissolution-précipitation.

Cette distribution suggère une évolution dans les conditions d'humidité de la séquence. Les étapes suivantes peuvent être proposées:

- 1: pas de conditions de percolation et encore moins de lessivage, ni au cours des périodes de dépôt des sédiments, ni au cours des phases de stabilisations;
- 2: ensuite, une période avec de l'eau percolant saturée en calcium;
- 3: après stabilisation, des conditions de saturation en eau temporaire, avec nappe phréatique suffisamment stagnante pour mobiliser du manganèse, mais pas suffisamment pour une réduction du fer.

Cette séquence permet d'expliquer:

- le développement de cristaux de gypse;
- le remplacement du gypse par de la calcite dans la partie supérieure de la séquence;
- la préservation du gypse dans la partie inférieure de la séquence;
- la préservation des os;
- l'absence de traces de réduction du fer, mais la présence d'une certaine mobilisation et accumulation du manganèse, entre autres sur les cristaux de pseudomorphes calcitiques.