



HAL
open science

Montiers-sur-Saulx (Meuse) Rapport d'analyse micromorphologique de sols de placettes de charbonnage. (Programme Deepsurf)

Anne Gebhardt

► To cite this version:

Anne Gebhardt. Montiers-sur-Saulx (Meuse) Rapport d'analyse micromorphologique de sols de placettes de charbonnage. (Programme Deepsurf). [Rapport de recherche] LIEC Université de Lorraine, Vandoeuvre-les-Nancy. 2021. hal-03513258

HAL Id: hal-03513258

<https://hal.science/hal-03513258>

Submitted on 5 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**Montiers-sur-Saulx
(55, Meuse)**

**Rapport d'analyse micromorphologique
de sols de placettes de charbonnage.
(Programme Deepsurf)**

**Anne GEBHARDT
Géomorphologue**

Université de Lorraine, CNRS, LIEC UMR 7360 F-5000, Vandœuvre-lès-Nancy,
Université de Strasbourg, CNRS, LIVE UMR 7362, F-67000, Strasbourg, France.

Ingénieur de recherche INRAP

Décembre 2021

**Ce rapport a été rédigé à la lumière de données partielles acquises lors du prélèvement de terrain et mises à jour au moment de l'élaboration du rapport.
Il s'agit donc d'une proposition d'interprétation pédo-sédimentaire, à considérer comme telle, et qu'il convient de discuter avec l'auteur avant publication.**

1 – Introduction

Hormis les nombreuses études vouées à la compréhension des charbonnières en tant qu'objet archéologique et ethnographique (Paradis-Grenouillet, 2018), jusqu'ici les travaux en écologie historique sur les charbonnières ont principalement portés sur l'étude des charbons en tant que marqueur de l'évolution du couvert forestier sous l'emprise anthropique (Ludemann, 1997 ; Nelle, 2003 ; Nölken, 2005 ; Riebero de Oliveira, 2019 ; Gocel-Chalte *et al.*, 2020). Plus récemment des travaux ont abordé leur rôle en tant que puits de carbone (Bell et Worrall, 2011 ; Borchard *et al.*, 2014 ; Hardy *et al.*, 2017) et leur l'impact sur l'amélioration de la qualité des sols (Mastrolonaedo *et al.*, 2018, 2019). Les récents travaux ayant aborder l'étude des transformations du sol sous l'impact des activités de charbonnage sont rares (Dupin, 2019 ; Fouedjeu et al, 2021) et ces dernières études n'ont pas aborder la comparaison entre un profil sous la meule de charbonnière et un profil de référence hors emprise. Cette comparaison est pourtant essentielle pour éviter une mésinterprétation des traits pédo-sédimentaires observés en lame et faire la part entre la variabilité des caractères naturels des sols et les transformations liées aux activités de charbonnage (Gebhardt, 2007 ; Raab et al, 2017 Hirsh *et al.*, 2018 ; Poszwa et al, 2021 ; Gebhardt *et al.*, en prépa).

Suite à la campagne de prospection 2020, en rapport avec les travaux de thèse menés par Claudia Oliveira dans le cadre du programme Deepsurf, sous la direction de V. Robin (LIEC), 4 profils pédo-sédimentaires enfouis sous d'anciennes charbonnières dans le secteur de Montiers-sur-Saulx (Meuse) ont été sélectionnés.

Pour ces 4 plateformes échantillonnées, il s'agit prioritairement de chercher des indices micromorphologiques de possibles "re-utilisations" ou au moins des différences d'intensité d'utilisation.

2 – Etat des connaissances pédo-sédimentaires locales

La région prospectée dans le cadre de cette étude, localisée entre Montiers-sur-Saulx et Houdelaincourt est caractérisée par un relief doux de petits plateaux culminant autour de 350m. Ils sont entaillés par des petits cours d'eaux affluents de l'Ormançon, l'Orge et le Saulx dont l'altitude des vallées oscille localement entre 200 et 300m créant des pentes moyennes à fortes.

D'après la carte géologique et les notices géologiques des feuilles de Joinville (BRGM, 1962) et de Gondrecourt-le-Château (BRGM, 1970), les sondages sont localisés sur deux secteurs sédimentaires distincts (Fig 1a). Le premier groupe, à l'ouest (579-P13) et 581-P22), est localisé à la limite lithologique entre le *Jurassique* (*Portlandien, J9a*) et le *Crétacé* (*Valanginien, n2*). Le second groupe, plus à l'est (625-P21 et 594-P24), se trouve exclusivement sur le (*Portlandien, J9a*).

Le *Valanginien* (*tab.1*) est composé par un sable dunaire très fins, blancs, gris ou jaunâtres surmontant un niveau de «*Fer géodique*» et de grès ferrugineux bruns mélangés avec du sable grossier et parfois avec de l'argile. Le minerai de fer se présente sous forme de nodules, de croûtes ou de plaquettes. Le plus souvent de structure géodique, le minerai de fer est parfois oolithique ou lithoïde quand l'oxyde de fer est remplacé par du carbonate (sidérose lithoïde). Au cours du Quaternaire ancien, les dépôts du Valanginien ont été remaniés et transportés, conférant une grande variabilité à chaque affleurement.

Le fer géodique était activement exploité encore au siècle dernier; le grès a servi de moellon, les sables fins ont été utilisés pour la fabrication de moules (de fonderie) et de briques réfractaires. L'épaisseur du Valanginien est très variable.

Dans le secteur prospecté, les dépôts du Valanginiens recouvrent les calcaires du *Portlandien* (*tab.1*) ancien, le Portlandien supérieur ayant été érodé pendant l'émersion précédant la transgression du Crétacé il y a environ 140 000 ans.

Selon le Référentiel Régional Pédologique de la Lorraine (Maillant et al, 2016 ; Fig1b) les trois Unités Cartographiques de Sols (UCS) rencontrées reflètent deux classes d'évolutions de sol :

→ les sols évolués dominés par le lessivage des argiles :

UCS 2602 : *luvisol typique* localement rédoxiques issus de placages limoneux sur argiles de décarbonatation sur calcaire dur (35%), *néoluvisol* localement rédoxiques issus de limons et sables argileux du Valanginien (30%), calcisol *argilo-limoneux* (ou *luvique limono-argileux*) issu d'argiles de décarbonatation de calcaires durs (20%), *colluviosol saturé* de thalweg des plateaux argilo-calcaires du Portlandien (10%) et *brunisol dystrique* localement rédoxique ou *podzosol meuble*, sur lentille très sableuse du Valanginien (5%)

→ les sols majoritairement moins évolués ou rajeunis par des processus colluviaux :

UCS 2604 : *rendosol colluvial* caillouteux de coteaux calcaires pentus issus de colluvions sur calcaires (65%) ou *colluviosol saturé* caillouteux de fond de vallon sur colluvions (35%).

UCS 2603 : *rendosol ou calcosol* plus ou moins caillouteux sur calcaire dur (45%), calcisols argilo-limoneux (ou calcisols luviques limono-argileux) issu d'argiles de carbonatation du calcaire dur (25%), luvisol typique localement rédoxique issu de placages limoneux sur argiles de décarbonatation sur calcaire dur (15%), colluviosols re-saturés faiblement graveleux de thalweg des plateaux calcaire (15%).

3 – Méthodologie :

Les profils (Fig.1) ont été choisis en rapport avec les travaux de thèse menés par Claudia Oliveira dans le cadre du programme Deepsurf, sous la direction de V. Robin (LIEC). Il s'agit prioritairement de chercher des indices micromorphologiques attestant :

- de possibles "ré-utilisations",
- des différences d'intensité d'utilisation,
- toute autre information pertinente.

Les 4 plate-formes (CH) et leurs profils amonts (AM) associés sont :

- 579 (P13) CH et 579 (P13) AM (Fig.2)
- 581 (P22) CH et 581 (P22) AM (Fig.3)
- 625 (P21) CH et 625 (P21) AM (Fig.4)
- 594 (P24) CH et 594 (P24) AM (Fig.5)

Pour bien comprendre le fonctionnement de ces plate-formes, chaque profil sous charbonnière est comparé à un profil «naturel», localisé à une dizaine de mètres à l'amont des charbonnières, dans un secteur à priori non perturbé par elles. Les sondages pédologiques sont effectués à la bêche, traversant -dans la mesure du possible- les sédiments meubles jusqu'à la roche calcaire en place.

Chaque profil a été décrit macroscopiquement et chaque unité décrite prélevée :

- *en vrac*, pour une caractérisation pédo-chimique de chaque séquence (résultats non discutés dans ce rapport),
- *en tubes de densité* pour étudier les éventuels effets de compaction (résultats non discutés dans ce rapport),
- *en blocs orientés* pour en observer la structure et les perturbations à l'échelle microscopique.

Ce rapport ne concerne que l'analyse micromorphologique des profils.

La micromorphologie est l'étude au microscope polarisant de sédiments meubles non perturbés, prélevés en blocs orientés. Elle permet la reconnaissance d'un certain nombre de traits texturaux et structuraux, sédimentaires, pédologiques, et anthropiques qui caractérisent le support naturel, son degré d'évolution pédologique et le type de perturbation anthropique qui l'affectent (Macphail & Goldberg, 2017 ; Nicosia & Stoops, 2017 ; Stoops *et al.*, 2018). La micromorphologie des sols vise donc à mieux comprendre les formations susceptibles de renfermer du matériel archéologique car potentiellement contemporaines d'une occupation humaine, mais participe également à la caractérisation pédo-sédimentaire et chronostratigraphique des formations. Enfin, dans un cadre multidisciplinaire, elle contribue à mieux connaître l'environnement en lien plus ou moins directe avec les activités des hommes du passé.

Une fois prélevés, les échantillons sont séchés puis indurés par imprégnation sous vide dans une résine polyester. Puis ils sont découpés en plaques et amincis jusqu'à 25µm pour permettre leur observation au microscope polarisant. Les lames ont été effectuées au Laboratoire Thomas Beckmann à Schwülper-Lagesbüttel (Allemagne) selon le protocole classique de fabrication (Beckmann, 1997). Les lames sont décrites et interprétées selon la nomenclature internationale (Bullock *et al.*, 1985 ; Nicosia & Stoops, 2017 ; Macphail & Goldberg, 2017 ; Stoops *et al.*, 2018 ; Verrecchia & Trombino, 2021) traduite en français par Stoops (1986).

4 – Résultats micromorphologiques et interprétations

La description micromorphologique systématique des lames est reportée dans le tableau 2 . Nous ne reprendrons ici que les traits les plus caractéristiques nécessaires à la discussion pour répondre à la problématique posée.

4.1 - Rappel des traits caractéristiques observés

4.1.1 – 579 (P13) [Fig.7, Fig.8]

La microstructure apparaît beaucoup plus bio-agrégée dans le profil sous la charbonnière que dans le profil de référence amont (sauf la base 579 CH3). Les agrégats

sont des déjections, parfois très noires, résultant du grignotage des charbons par une macro-faune du sol abondante.

Le profil amont apparaît plus compacte et moins bioturbé, avec une structuration fissurale isolant de gros agrégats plus ou moins détachés. On y observe un phytolithe (Fig.7b) isolé, résidu de cellule de graminée/herbacée (Vrydaghs *et al.*, 2017). C'est le seul phytolithe observé sur l'ensemble des profils amonts et charbonnières du secteur étudié.

Ces deux séquences (sous charbonnière et son profil amont associé) sont caractérisées par une composante très sableuse de quartz, parfois assez grossiers, et la présence de nombreux éléments issus du Valanginien (grès ferrugineux, fer oolitique). Le profil de la charbonnière inclus de nombreux charbons et éléments végétaux frais et plus ou moins bien carbonisés, dont un fragment de brindille carbonisée à 23 cerne du cœur à l'écorce (Fig8)...

La matrice, porphyrique très enveloppante, est globalement non à peu biréfringente. Sauf à la base de la séquence de la charbonnière où elle présente une fabrique fortement réticulée très biréfringente.

Les traits pédologiques sont diverses formes de revêtements, abondants dans les deux profils. Ce sont :

- des revêtements argileux jaunes à oranges, limpides plus ou moins remaniés et sous la forme de papules; ils sont surtout présents à la base du profil 'amont (AM2 et AM3) et témoignent de la perturbations de l'horizon BT d'un ancien Luvisol. Les revêtements argileux jaunes limpides épais et lités en place sont surtout présents à la base de la plateforme. Ils révèlent un horizon BT de Luvisol actuel non perturbé, développé dans les argiles de décarbonatation du calcaire sous la charbonnière.

- des revêtements silteux poussiéreux non lités et peu épais ainsi que des intercalations silteuses, observés à la base des profils amont et sous charbonnières (CH2-3 et AM2-3), indiquent une mise à nu de la surface du sol.

Des passages, plus ou moins verticaux, appauvris en argile et silts et riches en particules charbonneuses sont observées dans la zone intermédiaire entre le niveau de résidu de la meule et l'horizon BT (U2/lameCH2). Ces traits indiquent un lessivage des argiles le long de la porosité, sans doute favorisées par la bioturbation (faune, racines).

Localement des revêtements limpides peu épais recouvrent les plus poussiéreux indiquant une alternance entre phases de couverture de la surface du sol et de sa mise à nu.

Des petits fragments anguleux, plus ou moins chauffés observés au sommet du profil de la charbonnière (CH1) sont des fragments d'horizon de sols organiques et minéraux, sans doute liés au protocole de charbonnage (*frasil*).

4.1.2 – 581 (P22) [Fig.9]

Le profil amont est peu épais (10cm) contre une vingtaine de centimètres pour le profil de charbonnière. Globalement mêmes type d'observations que le profil précédent. Sous cette seconde charbonnière, le BT observé est peu développé, moins argileux que celui sous la charbonnière précédente. Il semble également localement remanié également sous la charbonnière.

4.1.3 – 625 (P21) [Fig.10]

Ces deux profils, sous charbonnière et profil amont associé, localisés sur les calcaires du crétacés sont moins épais que les précédents situés en limite du Valanginien. Ils atteignent le calcaire à seulement une dizaine de centimètre de profondeur. Dans le profil amont, la microstructure est bien marquée par des petits agrégats bien isolés par des fissures bien connectées. Dans le profil sous charbonnière, la structure apparaît finement bio-structurée. Les agrégats sont des déjections très noires révélant une abondante méso-faune du sol.

La composante minérale de ces deux séquences est nettement moins sableuse que celle observée dans les profils à proximité du Valanginien. Elle est plus limoneuse et les éléments issus du Valanginien (sables quartzeux, grès ferrugineux, fer oolitique) sont absents. Des concrétions ferrugineuses roulées (absentes dans les profils à proximité du Valanginien) sont observées. Des éléments organiques frais fragmentés sont présents au sommet des deux profils. Dans le résidu de la charbonnière, les petits charbons sont abondants (quelques gros). Certains fragments végétaux apparaissent plus ou moins carbonisés.

Le fond matriciel est porphyrique mais peu à pas biréfringent dans l'ensemble des séquences.

Les traits pédologiques les plus nombreux sont des agrégats d'horizons de sol roulés assez gros, anguleux et remaniés, parfois plus ou moins carbonisés, abondant dans le profil de la charbonnière. Dans la plate-forme on observe une scorie d'opale phytolithaire fondue et un fragment de déjection d'herbivore. Les phytolithes sont issus de la silicification des cellules d'herbacées ou graminées. Ces dernières ont pu être

utilisées pour l'allumage du feu par la cheminée au centre de la meule. L'opale phytolithaire fond à haute température. Le fragment de déjection d'herbivore est caractérisé par sa richesse en éléments végétaux et peut être attribué à la faune sauvage (cerfs, chevreuils,...) ou à la présence d'animaux domestiques sur le site (chèvre, ânes,.. ; Burri, 2008).

4.1.4 – 594 (P24) [Fig.11]

Ces deux derniers profils sont à nouveau plus épais : une vingtaine de centimètres pour la charbonnière et 15cm pour le profil amont.

Comme dans le profil amont précédant, la microstructure est également bien marquée par des petits agrégats bien isolés entre les fissures bien connectées. Dans le profil sous charbonnière, elle apparaît également beaucoup plus finement bio-structurée avec des déjections très noires révélant une méso-faune du sol active très active dans cet horizon.

La composante minérale de ces deux dernières séquences est également plus limoneuse et marquée par l'absence d'éléments issus du Valanginien. Comme dans 625 (P21), des concrétions roulées de fer sont observées. Dans la charbonnière les charbons sont abondants, majoritairement très fragmentés. On y observe aussi certains fragments végétaux qui apparaissent plus ou moins carbonisés.

Le fond matriciel est porphyrique mais peu à pas biréfringent dans l'ensemble des séquences, sauf à la base de la plate-forme de la charbonnière où il apparaît légèrement plus réticulé.

Dans le profil de la charbonnière, les traits pédologiques les plus nombreux sont des petits agrégats d'horizons de sol roulés remaniés plus ou moins chauffés. Contrairement à charbonnière précédente, d'abondants revêtements silteux poussiéreux sont observés.

Ces premières observations montrent que les séquences des sites, 579(P13) et 581(P22), localisées à proximité du Valanginien sont mieux différenciées que 625(P21) et 594(P24), développées directement sur le Portlandien. Des horizons BT, bien reconnaissables dans les deux premiers sites, peuvent servir de niveau repère pour suivre l'évolution structurale des profils.

4.2 - Interprétation des observations

4.2.1 - Les indices sur les caractéristiques des sols naturels d'avant le charbonnage te des sols actuels de référence.

Des revêtements argileux jaune limpides épais bien développés et en place (Fig.8,n, o, p) sont observés sous la plateforme 579 (P13). Ces revêtements indiquent donc la présence d'un *horizon textural BT de sol brun lessivé* très bien développé et fossilisé par la plate forme. Le lessivage qui correspond au transfert des argiles vers la profondeur, démarre après décarbonatation de la séquence, lorsque que sol est sous couvert végétal, ce qui nécessite plusieurs milliers d'années sous un climat favorable (Duchaufour,1975). Il est donc improbable que ce luvisol se soit formé naturellement en quelques siècles, à la suite des activités de charbonnage étudiées ici. Il à pu se développer au cours du quaternaires, sur d'anciens placages limoneux recouvrant les argiles de décarbonatation des calcaires du Portlandien affectés par les dépôts sableux du Valanginien (Maillant *et al.*, 2016). La présence dans les profils de ces sables est notée au microscope sur l'ensemble des lames (579 (P13) (profils amont et plateforme).

A la base du profil amont 579 (P13)-AM2/AM3), ces épais revêtements argileux jaunes à orangés lités, limpides et déplacés (Fig.7m), sont observés dans des agrégats assez gros (2-3mm) remaniés. Ils témoignent de la perturbations de l'horizon illuvial BT du Luvisol. L'absence d'indices de gel-dégel d'origine périglaciaire (Van Vliet-Lanoé, 1992 ; Van Vliet-Lanoé & Fox, 2018) ne plaide pas pour une mise en place du sédiment de cette séquence amont au cours d'un interglaciaire quaternaire. Par ailleurs, ce remaniement pourrait être d'origine colluviale, lié à une phase d'érosion anthropique holocène, antérieure ou contemporaine des activités de charbonnage, mais la taille conséquente des agrégats, aux forme assez anguleuses et irrégulières, nous invite à réfuter cette hypothèse. On peut également raisonnablement penser que l'érosion aurait dû affecter pareillement le profil amont et celui sous la charbonnière, situés à seulement une dizaine de mètres d'écart. La résistance à l'érosion des horizons BT (comparativement aux horizons supérieurs A et E disparus) nous incite donc à poser l'hypothèse d'une destruction mécanique d'origine anthropique de ce BT, à l'aide d'outils.

L'horizon profond du sol peu épais de référence à l'amont de la plate-forme 581(P22), montre que les illuviations sont plus ténues mais néanmoins également remaniées. Le lessivage semble avoir été ici moins développé et pourrait plus

correspondre au remaniement d'un luvisol holocène (moins argileux). Les agrégats d'horizon BT (Fig.9a, b, e) et d'horizon organo-minéraux remaniés sont assez gros (1/2cm) et présents dans tout le profil, voire même au sein du résidu de charbonnière (Fig.9g). Rares et ténues sont les occurrences d'accumulation d'argiles (légèrement litées orangées) observées en place sous la charbonnière (Fig.9n). Cette quasi absence de revêtements argileux en place révèle le remaniement du BT holocène sur une plus grande surface allant de la plateforme au profil de référence.

L'origine du remaniement de l'horizon BT moins bien marqué et moins argileux (donc plus fragile) reste plus difficile à appréhender. L'aspect remanié peut, comme précédemment, être lié aux activités de charbonnage (construction de la plate-forme, couverture de la meule) mais reste plus difficile à différencier des caractéristiques intrinsèques aux sols colluviaux mentionnés par la carte pédologique du secteur. Les deux modes de remaniement ne s'excluent pas.

4.2.2 - Les indices de perturbation du sol naturel liés à l'activité de charbonnage.

Sous la charbonnière 579 (P13) nous avons vu précédemment qu'un horizon BT relictuel de luvisol quaternaire est en place, très bien conservé sous la plate-forme. Les horizons organo-minéraux supérieurs ont été remaniés lors de l'aménagement de la placette de charbonnage et il n'y a visiblement pas eu de grattage profond atteignant cet horizon BT lors de l'aménagement de cette plate-forme qui l'a protégé des éventuelles perturbations postérieures à son enfouissement.

L'influence du charbonnage sur la micro-structure des sols

Suivant une pratique largement employée (Duhamel du Monceau 1761), nos charbonniers semblent donc avoir construit cette plate-forme 579 (P13) sur l'horizon illuvial (BT) du luvisol naturel après avoir débarrassé ce dernier de son humus, de l'horizon organique supérieur (A) et de tout élément organique profond qui aurait pu amener la meule à s'embraser. Cette pratique pouvant s'apparenter à du 'labour' (Gebhardt, 2007, Deák *et al.*, 2017) ainsi que les grattages successifs, nécessaires i) à la récupération du charbon en fin de combustion ou ii) aux nettoyages de la plate-forme précédents les phases de construction d'une nouvelle meule, ont largement perturbé l'horizon éluvial (E) qui se superposait au BT.

Toutefois, les perturbations observées ici ne ressemblent pas aux boulettes grossières obtenues lors du labour (Deák *et al.*, 2017) ou observées dans les sols de la

charbonnière de l'écomusée de Haute Alsace utilisée 4 fois seulement (Gebhardt, 2007). Dans l'ensemble des profils, lorsqu'ils sont observés, ces agrégats sont plus petits (2-3mm), plus anguleux et semblent parfois plus ou moins chauffés. Outre une variabilité de structure et/ou texture du sédiment entre 579 (P13) et 581 (P22), cette différence témoigne sans doute d'une plus longue ré-utilisation des plate-formes à Montiers qu'à l'écomusée. Cette différence de taille des agrégats a été également faite sur des lames mince de plateforme de différents sites de charbonnage de la forêt de Chaux (Dupin *et al*, 2019).

Dans sa description des activités de charbonnage, Duhamel du Monceau (1761) mentionne l'utilisation de sédiment fin, non organique, raclé autour de la plate-forme pour couvrir la meule et mener la combustion en conditions de réduction. Outre, l'horizon éluvial débarrassé des fragments organiques, le BT argileux est idéal pour ce faire. Les agrégats de sol vont s'infiltrer et colmater les vides entre les rondins et charbonnettes. Ces petits fragments qui pénètrent dans la meule peuvent alors plus ou moins chauffer selon qu'ils se trouvent à proximité de la cheminée lors du démarrage de la combustion. Une fois tamisé après récupération du charbon de bois sur une ancienne plateforme, ce sédiment grossièrement agrégé, appelé *frasil*, est le meilleur sédiment pour obtenir une cuisson en condition réductrice (Burri, 2008). L'ablation de l'horizon BT en place, à seulement quelques mètres à l'amont de la plate-forme 579 (P13), peut donc sans aucun doute être en lien avec les procédés de charbonnage (Fig.12).

Des indices de perturbations de surface, de mise à nue du sol et de tassement

A l'aplomb des charbonnières et dans les profils de référence, on retrouve des revêtements silteux poussiéreux (Fig.7i, 9m, 11h) et des intercalations (Fig.9o/p, 11f) en plus ou moins grande quantité.

Lorsque la pluie tombe sur la terre nue débarrassée de sa végétation, voir profondément remaniée (voir plus haut), les gouttes arrachent diverses impuretés : c'est effet « splash ». L'eau va entraîner avec elle ces poussières terreuses et organiques à travers la porosité du sol et celles ci vont se déposer dans les vides sous la forme de revêtements grossiers d'aspect silteux poussiéreux (Jongorius, 1983). Lorsque les vides sont remplis et que le sol se tasse sous l'impact des activités humaines, il se forme des intercalations (Macphail & Goldberg, 2017). En plus des transformations liées à la construction des plates formes, les activités de charbonnage induisent donc certainement du piétinement plus ou moins intense et la déstabilisation des horizons de organique de surface de tout le secteur exploité. Les charbonniers vivent et dorment sur place dans les cabanes, pendant toute la durée du secteur et sont parfois autorisés à cultiver certaines parcelles entre les souches pour leur propre besoin alimentaire (Olivier, 2018)

Des indices de 'lessivage' intense dans les biogaleries,

Pour obtenir un lessivage des particules fines (argiles, cendres,...) aussi net que celui observé le long des bio-galeries (Fig.8l, 9f), sous le niveau de résidu de charbon des plateformes 579(P13) et 581(P22), il faut de l'eau en quantité assez conséquente. C'est apport hydrique peut-être en lien avec des intempéries (orages). Toutefois, on peut penser à un déversement anthropique volontaire. En effet, suite à la nécessité d'éteindre une meule qui aurait trop chauffé voire qui se serait accidentellement enflammée de grandes quantités d'eau peuvent avoir été déversées brusquement (Burri, 2008). On ne retrouve ces traces de lessivage que sur les charbonnières associées à des sols décarbonatés et lessivés (579 et 581). Y aurait-il une influence du type de sol (déjà décarbonaté) sur un éventuel lessivage anthropique, ou seules ces dernières charbonnières auraient fait l'objet d'un emballement thermique ?

Indices de pollution liée à certaines essences ?

Dans les sols sableux du Brandebourg où brunification et podzolisation dominant, Hirsh (*et al.*, 2018) observe, à l'aplomb des charbonnières un fin liseré noir autour des grains de quartz. Il interprète cet enrobage comme des goudrons issus de la combustion de résineux, plus riches en goudrons comme le pin. Ce phénomène n'est pas observé à Montiers. Y aurait-il moins de pin utilisé ici, ou est-ce lié à une différence de facteurs pédoclimatiques locaux (sols moins acides, précipitations différentes,..) ?

4.2.3 - Indices d'un éventuel phasage des activités de charbonnage

Les alternances de revêtements argileux limpides et silteux poussiéreux.

L'activité de charbonnage entraîne la coupe régulière des taillis et comme nous l'avons signalé, une préparation importante du sol supportant charbonnière, voire la construction d'une véritable plateforme sur les pentes. Mais il y a également une mise à nu temporaire du sol autour des plateformes, liée au grattage initial pour récupérer le *frasil*, et aux activités artisanales et domestiques des charbonniers.

Dans le profil amont 579 (P13), on observe des revêtements argileux limpides peu épais indiquant un sol végétalisé, recouvrant les accumulations plus silteuses indicatrices d'une mise à nu du sol (Fig.7j). Nous pouvons interpréter cette observation comme un indice de retour de la couverture végétale du sol (transferts d'argiles limpides) après une phase d'ouverture et de mise à nu du sol (argiles silteuses et poussiéreuses). Il est toutefois impossible de caler chronologiquement cet événement, même s'il peut être

associé à l'abandon temporaire des activités de charbonnage qui produisent des ouvertures régulières dans la canopée.

A propos des recharges de sédiment et de l'absence de phasage observé

Mis à part ces dernières observations suggérant une alternance d'ouverture et de couverture végétale, il n'y a pas d'indices attestant de successions d'utilisation des charbonnières au cours du temps, même si la réutilisation des mêmes aires de falde est largement attestée (Duhamel du Monceau, 1761). Ceci s'explique sans aucun doute par le remaniement permanent du sédiment pour récupérer le frasil mais aussi par l'obligation de construire chaque nouvelle meule sur une surface de sol consciencieusement débarrassée de sa végétation (racines, buissons, feuilles) par un travail du sol important. Enfin, l'action des vers de terre, a sans doute également une importance non négligeable dans le mélange des unités superficielles des profils sous charbonnière. Préférant le charbon de bois de plus de 70 ans d'âge (Elmer *et al.*, 2015), les lombrics sont plus abondants dans les anciennes plate-formes. Ceci explique sans doute la richesse en poussières charbonneuses de certaines de leurs galeries (Fig.8l, 11d, 11g), ce qui rend ces dernières mieux visibles dans les profils sous charbonnières.

Quelques cas de la littérature mentionnent une stratification de la plateforme. Il s'agit par exemple d'une plate-forme de charbonnières de la forêt de Paimpont (Ille et Vilaine), régulièrement recouvertes d'argile sans doute pour isoler la meule de l'humidité du sol gorgé d'eau (Gebhardt *et al.*, 1995 ; Gebhardt, 2007). Dans un autre exemple (Hirsh *et al.*, 2017), en vue de son élargissement un apport de sédiment depuis l'amont vient recouvrir une ancienne plate-forme de charbonnière. Cet apport conséquent a également servi à isoler la future meule de l'ancien niveau de résidus organiques carbonisés. Mais ces recouvrements ne sont pas systématiques entre chaque opération de carbonisation, et ne peuvent servir à compter le nombre d'utilisations de la plate-forme.

4.2.4 - Impact de la chaleur de la charbonnière sur le sol.

Hormis l'aspect « cuit » de certains petits fragments de sol observés surtout dans les profils des charbonnières (CH1), d'autres indices peuvent témoigner d'une montée en température plus ou moins importante de la meule.

Des mesures de températures de charbonnières (Paradis-Grenouillet, 2012 ; Dupin *et al.*, 2017) révèlent des températures plutôt faibles, entre 200 et 400°C au bout de 5h de combustion, avec des valeurs pouvant monter jusqu'à 900°C à proximité de la cheminée de combustion. Hirsh (*et al.*, 2018) mentionne des températures légèrement

plus élevées (jusqu'à 500°C), pouvant aller jusqu'à 1100°C en cas d'emballement de la combustion. Par ailleurs, les expériences sur la combustion des sols concluent que celui-ci rougit entre 600°C et 1000°C et la fusion/vitrification du sédiment apparaît entre 1000°C et 1200°C (Röpke & Dietl, 2017). Le quartz commence à craqueler au-delà de 1100°C (Canti & Brochier, 2017). La température de rubéfaction du sol varie avec sa structure et sa teneur en fer, en matière organique et en calcaire (Ferro-Vásquez *et al.*, 2021). Un loess de forêt de Soigne commence à rosir vers 400°C (Gebhardt, 2007). Mathieu & Stoops (1972) montrent que les hydrates de fer se transforment en hématite à partir de 800°. Pour Hirsh (et al, 2017), la goethite se transforme en hématite vers 260°C) et la maghémite en hématite entre 370 et 600 °C. Toutefois, une rubéfaction pédologique d'origine climatique est impossible à différencier d'une cuisson artificielle par le feu d'un sol (Stoops & Marcelino, 2018).

Dans les résidus de meule de la plate-forme 625 (P21), nous avons pu observer un fragment d'opale de phytolithe fondu bulleux (Fig.10e). Ce type de trait est souvent observé dans les zones fortement anthropisées (Devos *et al.*, 2009), des remplissage foyers (Röpke & Dietl, 2017), voire mêmes des résidus de charbonnières (Gebhardt, 2007). D'après Mallol (*et al.*, 2017) l'opale issu de végétaux (herbacées/graminées) commence à fondre vers 850°C, laissant échapper des gaz donnant son aspect bulleux au fragment résultant. Le fragment bulleux observé dans le sédiment remanié de la charbonnière proviendrait donc de l'allumage de la charbonnière par la cheminée à l'aide de plantes sèches dont des graminées/herbacées riches en phytolithes.

5 – Conclusions générales

L'analyse des profils sous charbonnière et leurs référence associée révèle :

→ la préservation d'un ancien horizon BT de luvisol interglaciaire sous la charbonnière 579 (P13), et d'un BT, sans doute Holocène, moins développé et remanié sous la plate-forme 581(P22),

→ le remaniement de ce BT dans le profils de référence associé indique une perturbations du sol sur une surface plus large que la plate-forme d'au moins 10m pour la charbonnière 579 (P13),

→ que les abondants agrégats grossiers, anguleux et d'aspect plus ou moins chauffés observés sur l'ensemble des plate-formes sont assimilables au *frasil*, sédiment non organique gratté alentours pour étanchéfier la meule en vue d'une cuisson réductrice, et réutilisé à l'infini,

→ des phases d'ouverture de végétation et mise à nu du sol, et une phase de reconquête de végétation entre les réutilisations,

→ une possible utilisation d'eau pour éteindre les charbonnières qui s'enflamment,

→ l'utilisation de graminées/herbacées pour alimenter la cheminée, et/ou pour les feux domestiques.

→ présence d'herbivores (sauvages, domestiques ?),

→ forte bioturbation dans les plate-formes (nombreux terriers de vers de terre, riches en poussières charbonneuses) après abandon.

Ces conclusions provisoires demandent à être affinées et confrontées aux études et analyses complémentaires menées en parallèles (granulométrie, pédo-chimie, botanique, histoire locale, archives, ...)

Quelques suggestions des travaux futurs :

→ étude granulométrique du *frasil* pour voir si on peut avoir une granulométrie typique pour un nombre d'utilisation donnée et trouver un éventuel module granulométrique d'équilibre. Ceci permettrait peut-être de donner un nombre d'utilisation (ordre de grandeur) en fonction de ce granulométrie de référence.

→ chercher le sol témoins plus loin en amont ?

BIBLIOGRAPHIE

Beckmann T., 1997, Préparation bodenkundlicher Dünnschliffe für mikromorphologische untersuchungen. *Hohenheimer Bodenkundliche Hefte* 40, 89-103.

Bell M. J., & Worrall F., 2011, Charcoal addition to soils in NE England : A carbon sink with environmental co-benefits? *Science of The Total Environment*, 409 (9), 1704-1714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.01.031>

BRGM, 1962, notices géologiques de la carte géologique au 1/50 000°, feuille de Joinville, n°265, service de la carte géologique de la France, 6p.

BRGM, 1970, notices géologiques de la carte géologique au 1/50 000°, feuille de Gondrecourt-le-Chateau XXXII-16, service de la carte géologique de la France , 8p.

Borchard N., Ladd B., Eschemann S., Hegenberg D., Möselers B. M. & Amelung, W., 2014, Black carbon and soil properties at historical charcoal production sites in Germany. *Geoderma*, 232-234, 236-242. [sol/ecologie/MO/Charbons > PERSO \(34\). https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.007](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.05.007)

Bullock P, Fedoroff N., Jongerius A., Stoops G., Tursina T., & Babel U., 1985, *Handbook for soil thin section description*, Waine Research Publication, 152p.

Burri S., 2008 Enquête ethnoarchéologique sur le mode de vie et le savoir-faire des derniers charbonniers de Calabre (Italie) : entre tradition et modernité, *Cultures, Economies, Sociétés et Environnement du début de la Préhistoire au Moyen-Age : travaux en cours*, Actes de la troisième table ronde des jeunes chercheurs en archéologie de la MMSH, Aix-en-Provence, 6 juin 2008, A. Boutet, C. Defrasne, T. Lachenal (dir.), <http://www.mmsch.univ-aix.fr/ecoledoctorale/trjca/burri.htm>

Canti M. & Brochier J.-E., 2017, Plant Ash, In *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Nicosia et Stoops, (eds). John Wiley & Sons,

Deák J., Gebhardt A., Lewis H., Usai M. R., & Lee H., 2017, Soils Disturbed by Vegetation Clearance and Tillage. In *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Nicosia et Stoops, (eds). John Wiley & Sons, 231-264

Devos Y., Vrydaghs L., Degraeve A. et al., 2009, An archaeopedological and phytolitharian study of the 'Dark Earth' on the site of Rue de Dinant (Brussels, Belgium) *Catena* ,78, 270–284.

Duchauffour P., 1983, *Pédologie, Pédogenèse et classification*, T1, Paris, Masson. 485p.

Duhamel du Monceau H. L., 1761, Art du charbonnier, ou manière de faire le charbon. *Description des arts et métiers, faite ou approuvée par MM. de l'Académie des Sciences. Desaint et Saillant, Beauvais, 1 (30).*

Dupin A., Girardclos O., Fruchart C., Laplaige C., Nuninger L., Dufraisse A., & Gauthier E., 2017, Anthracology of charcoal kilns in the forest of Chailluz (France) as a tool to understand Franche-Comte forestry from the mid-15th to the early 20th century AD. *Quaternary International*, 458, 200-213.

Dupin A., Sordoillet D., Fréville K., Girardclos O., & Gauthier E., 2019, The taphonomic characterization of a charcoal production platform. Contribution of an innovative pair of methods: Raman analysis and micromorphology. *Journal of Archaeological Science*, 107, 87-99. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2019.05.003>

Elmer W. H., Lattao C. V. & Pignatello J. J., 2015, Active removal of biochar by earthworms (*Lumbricus terrestris*). *Pedobiologia*, 58(1), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2014.11.001>

Ferro-Vázquez C., Mallol C. & Aldeias V. 2021, Simply red? A systematic colour-based method for identifying archaeological fires. *Geoarchaeology*, n/a(n/a).

Fouédjeu L., Saulnie M., Lejay M., Dusatko M., Labbas V., Jump A. S., ... & Py-Saragaglia, V. (2021). High resolution reconstruction of modern charcoal production kilns : An integrated approach combining dendrochronology, micromorphology and anthracology in the French Pyrenees. *Quaternary International*, 593-594, 306-319.

Gebhardt A., Marguerie D. and Hunot J.-Y., 1995. Meules de charbonnier et archéométrie : problématique, méthodologie et premiers résultats. In *L'archéométrie dans les pays Européens de langue latine, Colloque d'archéométrie de Périgueux 26/29 avril 1995*, GMPCA, p. 119.

Gebhardt A., 2007, Impact of charcoal production activities on soil profiles : The micromorphological point of view. *ArcheoSciences*, (31), 127-136.

Gebhardt A., Poszwa A., Vrydaghs et al., en prépa. Soil micromorphological study of two ancient charcoal-hearth platforms soil sequences in the north of the Vosges mountains (Bitches, France), an (historico/archeo)-ecological/paleo-environmental approach.

Gocel-Chalté D., Guerold F., Knapp H., & Robin V., 2020. Anthracological analyses of charcoal production sites at a high spatial resolution : The role of topography in the historical distribution of tree taxa in the northern Vosges mountains, France. *Vegetation History and Archaeobotany*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s00334-020-00769-z>

Hardy B., Leifeld, J. Knicker, H., Dufey J. E., Deforce K., & Cornélis J.-T., 2017. Long term change in chemical properties of preindustrial charcoal particles aged in forest and agricultural temperate soil. *Organic Geochemistry*, 107, 33-45. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.02.008>

Hirsch F., Raab T., Ouimet W., Dethier D., Schneider A., & Raab A., 2017. Soils on Historic Charcoal Hearths : Terminology and Chemical Properties. *Soil Science Society of America Journal*, 81(6), 1427-1435. <https://doi.org/10.2136/sssaj2017.02.0067>

- Hirsch F., Schneider A., Bauriegel A., Raab A., & Raab T., 2018.** Formation, Classification, and Properties of Soils at Two Relict Charcoal Hearth Sites in Brandenburg, Germany. *Frontiers in Environmental Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00094>
- Jonguerius A. 1983,** The role of micromorphology in agricultural research, *Soil micromorphology* (ed. Bullock), 111-138.
- Ludemann T., Britsch T., 1997,** Wald und Köhlerei im nördlichen Feldberggebiet/Südschwarzwald, *Mitteilungen des badischen Landesvereins für Naturkunde und Naturschutz* 16, 487-526.
- Macphail R. I., & Goldberg, P. 2017,** *Applied Soils and Micromorphology in Archaeology* (Cambridge University Press).
- Maillant S. et al., 2016,** *Référentiel régional pédologique de la Lorraine*, échelle 1/25000, *Géoportail*. <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>
- Mallol C., Susan M. Mentzer S.M. & Miller C.E, 2017,** Combustion features, In *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Nicosia et Stoops, (eds). John Wiley & Sons, 299-330
- Mastrolonaedo G, Calderaro C., Coccozza C., Dufey, J. E., Hardy,B., & Corneli J.-T., 2019,** Long-Term Effect of Charcoal Accumulation in Hearth Soils on Tree Growth and Nutrient Cycling. *Front. Environ. Sci.*, 7:51., 1-15. <https://doi.org/doi:10.3389/fenvs.2019.00051>
- Mastrolonardo G., Francioso, O.,& Certini, G., 2018,** Relic charcoal hearth soils : A neglected carbon reservoir. Case study at Marsiliana forest, Central Italy. *Geoderma*, 315, 88-95. <https://doi.org/10.1016/2017/j.geoderma.2017.11.036>
- Mathieu C. and Stoops G., 1972,** Observations pétrographiques sur la paroi d'un four à chaux carolingien creusé en sol limoneux. *Archéologie Médiévale*, II : 347-354.
- Nelle O., 2003,** Woodland history of the last 500 years revealed by anthracological studies of charcoal kiln sites in the Bavarian Forest, Germany. *Phytocoenologia* 33, 667–682. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2003/0033-0667>.
- Nicosia C. et Stoops G. 2017,** *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Willey, 476p.
- Nölken W., 2005,** *Holzkohleanalytische Untersuchungen zur Waldgeschichte der Vogesen*, doctoral dissertation, Freiburg im Breisgau, Albert-Ludwigs-Universität.
- Olivier S., 2018,** Pour une approche sociale et technique du charbonnage dans le bassin de l'hérault au XVIIIes. d'après les archives du quotidien., *Charbonnage, charbonniers, charbonnières: confluence de regards autour d'un artisanat méconnu*. Presses universitaires de Provence, Aix-en-Provence 215-224

Paradis-Grenouillet S., 2012, Etudier les forêts métallurgiques: analyses dendro anthracologiques et approches géo-historiques. L'exemple des forêts du Mont Lozère et du Périgord-Limousin. Université de Limoges (PhD thesis).

Paradis-Grenouillet S., Burri S., Rouaud R., 2018, *Charbonnage, charbonniers, charbonnières: confluence de regards autour d'un artisanat méconnu*. Presses universitaires de Provence, Aix-en-Provence, 236p.

Poszwa A., Gebhardt A., Mansuy-Huault L., Gocel-Chalte D., Lorgeoux C., et al., 2021, Impact of past charcoal activities on forest soils. Historical Ecology for the future. International conference in historical ecology, colloque chairman: Vincent Robin, Interdisciplinary Laboratory for Continental Environments (LIEC - CNRS/UL), May 2021, Metz, France. <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-03236718> video of the communication on <https://www.youtube.com/watch?v=TQeXEObtmkM>.

Raab, T. Hirsch F., Ouimet W., Johnson K. M., Dethier D., & Raab A., 2017, Architecture of relict charcoal hearths in northwestern Connecticut, USA. *Geoarchaeology*, 32(4), 502-510. <https://doi.org/10.1002/gea.21614>

Ribeiro de Oliveira, R., Graciele Patzlaff R., & Scheel-Ybert R., 2019, A floresta como econderiço : arqueologia da paisagem na mata atlantica do Rio de Janeiro. *Revista Mosaico*, 13, 61-82. <https://doi.org/10.18224/mos.v13i1.7984>

Röpke A. and Dietl C., 2017, Burnt Soils and Sediments, in Nicosia and Stoops (eds), *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Willey 173-180.

Stoops G. et Marcelino V., 2018, Lateritic and bauxitic materials, Stoops, G., Marcelino, V., & Mees, F (eds). *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*, Elsevier , 691-720.

Stoops G., Marcelino V. & Mees F., 2018, *Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*, Elsevier, 980p.

Stoops, G., 1996, Multilingual translation of the terminology used in the Handbook for Soil thin Section Description. *Pedology*, n°36, 337-348

Van Vliet-Lanoë, B., 1998, Frost and soils : Implications for paleosols, paleoclimates and stratigraphy. *CATENA*, 34 (1-2) 157-183.

Van Vliet-Lanoë, B. and Fox C.A. (1998). Frost action. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Willey, 575-632.

Verrecchia E.P. & Trombino L., 2021, A visual atlas for soil micromorphologist, Springer, 177p.

Vrydaghs L., Devos Y. & Petó A., 2017, Opal Phytoliths, In *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*, Nicosia et Stoops, (eds). John Wiley & Sons.

Lexique :

Argilane : dépôt dans les vides, d'argiles fines ou grossières.

Biréfringence : propriété que possèdent certains minéraux à dédoubler un rayon lumineux incident en deux rayons réfractés orthogonaux. Au microscope, appliquée au fond matriciel, elle se traduit par un aspect tacheté ou réticulé selon le mode d'orientation des particules.

Chambre : cavité fermée irrégulière.

Chitonique : entoure les éléments du squelette en une fine pellicule.

Couleur : les couleurs sont décrites d'après l'édition japonaise de la "*Standard soil color chart*".

Diatomé : organisme unicellulaire aquatique formé de deux valves de nature siliceuse.

Empoussièrément : degré de pureté des argilanes. Leur aspect poussiéreux est souvent attribué à des poussières charbonneuses.

Enaulique : la matrice est agrégée, et ne remplit pas totalement les interstices entre les éléments d'un squelette grossier.

Géfurique : les éléments grossiers sont liés par des amas de fraction fine.

Intercalation : accumulation argilo-silteuses non liées aux vides.

LN/LP : abréviations employées selon le mode d'utilisation du microscope à transmission ; on note LN pour Lumière Naturelle, LP pour Lumière Polarisée.

Masse, matrice, fond matriciel : terme général désignant la fraction inférieure à 0,05 mm (50µm) qui compose le matériel de base observé en lame mince.

Monique : la matrice est inexistante.

Microstructure : structure du sol observée à un grossissement d'au moins 5x.

Micrite : cristallisation de cristaux de calcite inférieurs à 10µm.

Papule : fragment de revêtement argileux fin et limpide remanié, provenant de l'horizon pédologique d'accumulation d'argile (horizon BT).

Pédalité : mode d'agencement des agrégats des particules de sol ; elle est bien développée lorsque les agrégats sont totalement entourés de vide.

Pellet : déjection de la microfaune du sol.

Phytolite : squelette en silice amorphe de certaines plantes.

Porphyrique : les éléments grossiers sont totalement entourés de masse.

Squelette : fraction grossière du sédiment

Sparite : cristallisation de cristaux de calcite supérieurs à 80µm.

Trait : unité de fabrique bien distinguable du matériel adjacent et défini par une différence de concentration en un ou plusieurs composants (ex.: fraction granulométrique, matière organique, composants chimiques, cristallisation, etc...)

Liste des figures :

Tableau1 : Chronostratigraphie géologique.

Tableau 2 : Tableau de description des lames des différents profils prélevés.

Fig.1 : Montiers-sur-Saulx. Localisation des profils sur (a) la carte géologique de Joinville et Gondrecourt-le-Château, (BRGM 1962, 1970, Infoterre) et (b) sur la carte pédologique de la chambre d'agriculture (Géoportail).

- **n2** Valanginien,

- **J9a** Portlandien -

- **UCS 2602** : **luvisol typique sur argiles de décarbonation du calcaire (35%), néoluvisol localement rédoxiques issus de limons et sables argileux du Valanginien (30%), calcicole argilo-limoneux (ou lavique limono-argileux) issu d'argiles de décarbonation de calcaires durs (20%), colluviosol saturé de thalweg des plateaux argilo-calcaires du Portlandien (10%) et brunisol dystrique localement rédoxique ou podzosol meuble, sur lentille très sableuse du Valanginien (5%)**

- **UCS 2604** : *rendosol colluvial* caillouteux sur calcaires pentus (65%) ou *colluviosol* saturé caillouteux de fond de vallon (35%).

- **UCS 2603** : *rendosol colluvial* caillouteux de coteau calcaire pentu issu de colluvions (65%) et *colluviosol saturé* de fond de vallon à écoulement intermittent en milieu calcaire (35%)

Fig.2 : Montiers-sur-Saulx, placette 579 (P13) (a) profil naturel amont (am) et localisation des blocs prélevés, (b) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique, (c) profil sous charbonnière (CH) et localisation des blocs prélevés, (d) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique.

Fig.3 : Montiers-sur-Saulx, placette 581 (P22) (a) profil naturel amont (am) et localisation des blocs prélevés, (b) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique, (c) profil sous charbonnière (CH) et localisation des blocs prélevés, (d) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique, (e) vue générale de la plate forme et du profil amont associé.

Fig.4 : Montiers-sur-Saulx, placette 625 (P21) (a) profil naturel amont (am) et localisation des blocs prélevés, (b) blocs orientés et non perturbé prélevés pour

l'analyse micromorphologique, (c) profil sous charbonnière (CH) et localisation des blocs prélevés, (d) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique.

Fig.5 : Montiers-sur-Saulx, placette 594 (P24) (a) profil naturel amont (am) et localisation des blocs prélevés, (b) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique, (c) profil sous charbonnière (CH) et localisation des blocs prélevés, (d) blocs orientés et non perturbé prélevés pour l'analyse micromorphologique.

Fig.6 : Montiers-sur-Saulx, pédo-comparateur des sédiments. Note : les échantillons ont été reconstitués à partir des fractions de sédiment tamisées à 2mm.

Fig.7 : Montiers-sur-Saulx, principaux traits micromorphologiques de l'amont de la placette 579 (P13). (A)/(B)/(C) : scan des lames et localisation des traits illustrés Cadre chronostratigraphiques(gauche = Lumière Naturelle/LN, droite = Lumière Polarisée/LP) ; (a/c/d/e) aspect général, (b) phytolithe, (f) petit charbon, (g) bioturbation et fragment de grès ferrugineux, (h) fragment de sol remanié, (i) revêtements poussiéreux silteux, (j) revêtement argileux limpide sur phase de revêtement silteux poussiéreux, (k) fragment de grès ferrugineux du Valanginien, (l) nodule de sédiment roulé et ferruginisé, (m/n) fragments de BT remaniés.

Fig.8 : Montiers-sur-Saulx, principaux traits micromorphologiques de la placette 579 (P13). (A)/(B)/(C) : scan des lames et localisation des traits illustrés (gauche = Lumière Naturelle/LN, droite = Lumière Polarisée/LP) ; (a/b) calcédoine ?, (c) fruit à coque remplis de sédiment, (d) biogalerie au remplissage en pile d'assiette, (e) aspect général de mélange entre charbons et fragments organiques frais, (f) aspect général très bioturbé avec charbon, (g) fragment de sol roulé et charbon, (h) fragments de sol chauffés (?) et aspect très charbonneux, (i) aspect général avec nombreux agrégats et charbons, (j) fragments de BT remaniés, (k) fragments de charbon et grès ferrugineux, (l) biogalerie très charbonneuse, (m) zone lessivée, (n) revêtements silteux poussiéreux le long de la porosité du BT, (o) épais revêtements limpides du BT autour d'un fragment de grès ferrugineux, (p) aspect général du BT.

Fig.9 : Montiers-sur-Saulx, principaux traits micromorphologiques de la placette 581 (P22) amont. Scan des lames et localisation des traits illustrés (gauche = Lumière Naturelle/LN, droite = Lumière Polarisée/LP) ; (A) du profil amont et (B)/(C)/(D) du

profil de la plateforme : (a/b/g) fragment de BT remanié, (c) fragment d'horizon organique, (d) bioturbation, (e) fragments de BT remanié-chauffé (?), (f) terrier de vers de terre en pile d'assiette au remplissage noir charbonneux et fragment de BT remanié, (h) charbon de bois, (i) fragment végétal frais, (j) petits fragments carbonisés, (k) racine fraîche, (l) terrier de vers de terre remplis de poussières carbonisées, (m) revêtement poussiéreux, (n) revêtement argileux limpide lité rougeâtre, (o/p) revêtements poussiéreux et intercalations.

Fig.10 : Montiers-sur-Saulx, principaux traits micromorphologiques de la placette 625 (P21) amont. Scan des lames et localisation des traits illustrés (gauche = Lumière Naturelle/LN, droite = Lumière Polarisée/LP ; (A), (B) du profil de la plateforme et (C) du profil amont : (a) coquille/coque de fruit ?, (b) fragment de sol chauffé, (c) aspect très grumeleux avec abondants agrégats plus ou moins chauffés, (d) agrégat charbonneux, (e) scorie bulleuse d'opale phytolithaire fondue, (f) déjection d'herbivore, (g) aspect très grumeleux avec abondants agrégats plus ou moins chauffés, (h) aspect général très charbonneux, (i) fragment de charbon, (j) matière organique très fragmentée, (k) aspect général assez compact.

Fig.11 : Montiers-sur-Saulx, principaux traits micromorphologiques de la placette 594 (P24) amont. Scan des lames et localisation des traits illustrés (gauche = Lumière Naturelle/LN, droite = Lumière Polarisée/LP ; (A) du profil amont (B)/(C)/(D) du profil de la plateforme : (a) petit fragment de charbon, (b) aspect général, (c) fragment d'horizon profond un peu plus biréfringent, (d/g) terrier charbonneux, (e) fragments de sol plus ou moins charbonneux, (f) intercalation, (h) revêtement poussiéreux, (i) grès ferrugineux et petits revêtements limpides, (j) charbon, revêtement poussiéreux et intercalations, (k) aspect général très réticulé, (l) grès ferrugineux et revêtements argileux limpides, (m) gravier de calcaire et revêtements micritiques.

Fig.12 : Schéma illustrant les différentes phases de perturbation du sol au niveau de la plate-forme 579 (P13) et aux alentours (échelles non respectées).

1 : profil pédologique du Luvisol naturel non anthropisé ; U4 substrat (C) calcaires du Portlandien, surmonté de résidus du Valanginien, U3 horizon illuvial BT développé dans les argiles résiduelles de dissolution du calcaire, U2 horizon organo-minéral éluvial (E) sableux dans les résidus de sables du Valanginien, U1 horizon organique (A), U0 litière (L).

2 : construction de la plate-forme : évacuation des horizon organiques (U0/U1) et perturbation des horizons profonds totale pour U3 et superficielle pour U4.

3 : construction de la meule sur la plate-forme

4 : colmatage par le frasil extrait de l'horizon argileux BT tassé sur la meule

5 : la plate-forme après abandon et localisation des profils sous la charbonnière et
amont.