



**HAL**  
open science

## Feux agricoles, des techniques méconnues des archéologues. L'apport de l'étude archéopédologique des résidus de combustion de Transinne (Belgique)

Clément Menbrivès, Christophe Petit, Elliott Michelle, Wassel Eddargach, Kai Fechner

### ► To cite this version:

Clément Menbrivès, Christophe Petit, Elliott Michelle, Wassel Eddargach, Kai Fechner. Feux agricoles, des techniques méconnues des archéologues. L'apport de l'étude archéopédologique des résidus de combustion de Transinne (Belgique). Soils as records of past and Present. From soil surveys to archaeological sites: research strategies for interpreting soil characteristics, Judit Deák; Carole Ampe; Jari Hinsch Mikkelsen, Nov 2019, Bruges, Belgique. pp.121-139, 10.5281/zenodo.3420749 . halshs-02444363

**HAL Id: halshs-02444363**

**<https://shs.hal.science/halshs-02444363>**

Submitted on 22 Jan 2020

**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.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

# FEUX AGRICOLES, DES TECHNIQUES MÉCONNUES DES ARCHÉOLOGUES

## L'apport de l'étude archéopédologique des résidus de combustion de Transinne (Belgique)

**C. Menbrivès<sup>1</sup>**  
**C. Petit<sup>1</sup>**  
**M. Elliott<sup>1</sup>**  
**W. Eddargach<sup>1</sup>**  
**K. Fechner<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> UMR 7041 ArScAn, Équipe Archéologies Environnementales, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, Maison Archéologie & Ethnologie René-Ginouvès, Nanterre Cedex, France

<sup>2</sup> Institut National de Recherche en Archéologie Préventive Nord-Picardie, France

### Auteur de correspondance

C. Menbrivès, clement.menbrives@outlook.fr

### RESUMÉ

Les feux de végétation naturels ou anthropiques produisent des écofactifs qui peuvent perdurer à l'échelle plurimillénaire dans les sols et les sédiments. Les charbons de bois micro- et macroscopiques sont ainsi employés comme marqueur paléoécologique (pédoanthracologie) ou dans l'étude de l'histoire des feux (charbons sédimentaires). La question de la détermination de l'origine, naturelle (climatique) ou anthropique (agropastorale, accidentelle), reste toutefois délicate à l'échelle de chacun des événements des paléo-feux. Parallèlement, la découverte de résidus de combustion, dans des horizons de sols anciens ou le comblement de dépressions naturelles (chablis) est souvent expliquée par les archéologues comme le fait de brûlis anthropiques du couvert forestier ou de feux affectant les souches des arbres. Toutefois, les hypothèses favorisées dans les interprétations archéologiques, concordent peu avec les pratiques de feux agricoles présentes dans la documentation historique des agronomes. De plus, certaines techniques qui possédaient une relative importance à l'époque Moderne ne sont quasiment jamais mentionnées. C'est notamment le cas de l'écobuage, qui au sens classique, fait référence à une technique de préparation du champ, qui procède par une extraction de la couche superficielle du sol, dont les mottes servent à la réalisation de fourneaux de combustion. Des résidus de combustion potentiellement liés à des feux anthropiques, signalés dans un horizon de sol par Roger Langohr et échantillonné avec lui par Kai Fechner, dans le contexte de la carrière de Transinne (Belgique), font l'objet d'une analyse micromorphologique, anthracologique, et de cuissons expérimentales contrôlées. Ces résultats sont interprétés en fonction des connaissances des processus de combustion des feux naturels et agricoles.

### MOTS-CLÉS

écobuage, essartage, agriculture, incendie, rubéfaction, pédoanthracologie, spectrocolorimétrie

### DOI

10.5281/zenodo.3420749

## 1. Introduction

L'hypothèse que les premières agricultures pratiquées en Europe tempérée reposent sur l'usage du feu est relativement ancienne (Childe, 1929; Iversen, 1956) et encore souvent reprise dans la littérature archéologique (Mazoyer et Roudart, 1997; Guilaine, 2015). La persistance de ce modèle peut s'expliquer par plusieurs considérations relatives aux écosystèmes passés (potentiel agronomique des sols, milieu forestier contraignant) et aux moyens techniques des sociétés anciennes pour leur exploitation (par ex. nature et type d'outillage aratoire). Mais également par l'existence d'un comparatisme ethnographique plus ou moins implicite (Hodder, 1980), qui associe les agricultures dites itinérantes sur brûlis des régions forestières tropicales humides à des pratiques rudimentaires, en dépit des nombreux travaux des ethnologues et géographes sur la question (Barrau, 1971; Dounias et al., 2000; Demaze et Manusset, 2008; Bahuchet et Betsch, 2012).

Les données matérielles sur lesquelles repose cette hypothèse sont toutefois largement discutables. D'une part, les marqueurs paléo-environnementaux employés en ce sens sont largement ubiquistes et il est particulièrement difficile de distinguer leur origine naturelle ou anthropique (Robin et al., 2015; Canti, 2017). C'est le cas des études portant sur les restes carbonisés en milieux sédimentaires stratifiés, qui constituent actuellement la principale source de données pour discuter des régimes (fréquence et intensité) des paléo-feux (Power et al., 2008). C'est également le cas des travaux portant sur les charbons de bois en contextes pédo-sédimentaires (pédo- et géo-anthracologie), qui impliquent une grande prudence dans l'interprétation de l'origine de ces écofactes (Robin et al., 2015). D'autre part, les données archéologiques utilisées dans ce débat sont limitées car elles ne représentent pas des indices directs de l'activité agricole, et les modèles proposés sont trop réducteur vis-à-vis des réalités anthropologiques (Jacomet et al., 2016; Pétrequin et al., 2016). Par exemple, la mobilité résidentielle est souvent confondue avec l'itinérance agricole, et il est tout à fait probable que différents systèmes agricoles aient coexistés à une échelle régionale voire à l'intérieur d'un même groupe humain. Aujourd'hui, les arguments soutenant ou non ce modèle, entre autres les expérimentations d'abattis-brûlis et les données carpologiques intra-site, sont l'objet d'un vif débat (Bogaard, 2002; Schier et al., 2013; Jacomet et al., 2016; Rösch et al., 2017; Halstead, 2018).

Le feu, par les modifications physico-chimiques qu'il provoque, permet la fabrication de marqueurs archéo-environnementaux qui peuvent perdurer longtemps. Son emploi dans le cadre d'itinéraires agricoles est donc susceptible de présenter une visibilité archéologique non négligeable. Mais, si des mentions de structures assimilées

à des vestiges de feux agricoles sont fréquentes dans la littérature géoarchéologique (Guilaine, 1991), ces découvertes font rarement l'objet d'une attention particulière (Guiblais-Starck et al., en préparation). La question des indices microscopiques potentiellement liés à de tels feux est quant à elle déjà discutée depuis plusieurs dizaines d'années par les micromorphologues (Macphail et al., 1990). Toutefois, le modèle d'interprétation le plus courant, celui de feux liés à des souches d'arbres (Goldberg et Macphail, 2006), n'apparaît pas dans la littérature technique et agronomique moderne (Barrau, 1972; Portères, 1972). De plus, le sens accordé aux différents termes renvoyant aux feux agricoles n'est pas toujours précisé ou présente souvent des incohérences envers les définitions techniques (Sigaut, 1975). Aussi, l'écobuage au sens classique, qui possédait une relative importance à l'époque moderne, est totalement absent des hypothèses envisagées. Cet état de fait semble pour partie lié aux confusions qui peuvent apparaître à travers certaines archives historiques (Burri, 2017) et à des glissements sémantiques plus ou moins récents (par ex. écobuage employé au sens de brûlis pastoral; Ribet, 2009). Pourtant, ces problèmes terminologiques ont été soulignés à de multiples reprises depuis bientôt 50 ans (Barrau, 1971; Portères, 1972; Sigaut, 1975; Grenand, 1996; Ribet, 2009; Dumez, 2010). Afin de pouvoir identifier les indices archéologiques potentiels de ces feux, il est donc nécessaire de les étudier en terme de techniques (Sigaut, 2012) : soit de connaître quelles sont les modalités de ces feux (structure et fonctionnement), et à quels problèmes leur emploi répond (fonction) ?

L'objectif de cet article, est d'attirer l'attention sur la nécessité de considérer les feux agricoles d'un point de vue technique et systémique. Après un bref état des lieux des interprétations de structures associées à de tels feux dans la recherche géoarchéologique, nous présenterons une synthèse des principales techniques de feux agricoles décrites dans les archives agronomiques et ethnographiques modernes. Les modalités de combustion de ces techniques et des feux naturels nous servent ensuite à proposer un modèle général de leurs produits. Enfin, un cas d'étude de résidus de combustion est développé et discuté vis-à-vis de cette documentation.

## 2. Interprétations géoarchéologiques des traces de feux agricoles

### 2.1. STRUCTURES ET RÉSIDUS DE COMBUSTION MACROSCOPIQUES

Bien que les résidus carbonisés (toutes archives confondues) constituent les marqueurs de feu les plus étudiés, ils ne sont pas les seuls produits de la combustion qui permettent leur caractérisation. Les transferts thermiques

induits par la chauffe, peuvent entraîner des modifications physico-chimiques importantes des sols et des sédiments : mélanisation, rubéfaction, cimentation, désagrégation ou vitrification (Fechner et al., 2002 ; Mentzer, 2014 ; Mallol et Dietl, 2017). La nature et les modalités de manifestation des transformations minéralogiques dépendent de facteurs complexes, impliquant tant le contexte édaphique (texture, matière organique, quantités et formes du fer, etc.) que les spécificités des feux (type et état du combustible, etc.). La caractérisation de ces modifications via différentes méthodes (propriétés magnétiques, analyses chimiques) peut donc permettre de comprendre les événements à leur origine. De plus, les résidus chauffés ont l'avantage de posséder une résistance mécanique et chimique supérieure à d'autres produits de la combustion (phytolithes, végétaux non-ligneux carbonisés), ce qui en fait des marqueurs pertinents à documenter (Canti, 2003 ; Villagran et al., 2017). Par exemple, la persistance des modifications minéralogiques a déjà été employée pour mettre en évidence des zones de « brûlis », via des méthodes de prospection magnétique (Marmet et al., 2002).

Le développement de l'archéologie préventive et la systématisation des opérations de diagnostic a permis la mise au jour dans différents contextes, de vestiges du feu qui ne peuvent être associés à des activités domestiques ou artisanales, soit du fait de l'absence d'indices spécifiques de telles activités (structures, mobiliers, scories, etc.), soit par l'absence même de contexte archéologique dans les niveaux concernés (espaces hors-sites). Ainsi, on trouve dans les rapports de fouille, et plus rarement dans des publications, des faits enregistrés sous ces divers termes : foyer d'essartage, foyer de déforestation ou chablis brûlé (par. ex. Bell, 1983 ; Marmet et al., 2002 ; Le Jeune et al., 2005 ; Cremaschi et Nicosia, 2012 ; Cubizolle et al., 2014). Ils sont généralement interprétés comme les vestiges d'élimination du couvert ligneux par le feu, voire d'incendies naturels affectant les systèmes racinaires des arbres. Malheureusement, ces faits archéologiques ou naturels font rarement l'objet de caractérisations approfondies qui permettraient de comprendre leur formation. Ce constat est problématique car les structures renseignées sous ces termes, regroupent en réalité des structures très différentes : à la fois des traces dont la morphologie atteste avec certitude de chablis dont le remplissage contient des résidus de combustion (Fechner et al., 2008) et, des concentrations non structurées de résidus de combustion, parfois essentiellement formées de terre rubéfiée (Blouet et Faye, 1986 ; Marembert et Prodéo, 2007). Il paraît donc raisonnable de s'interroger sur l'interprétation analogue qui peut être proposée pour des faits si différents.

## 2.2. INDICES MICROSCOPIQUES

Si ces structures ont relativement peu suscité l'intérêt des archéologues, la question des indices microscopiques permettant d'attester de feux agricoles constitue un sujet important dans les recherches micromorphologiques (Deák et al., 2017). Cette approche est en effet particulièrement pertinente dans l'étude des produits de combustion, leur composition, leur morphologie et des processus liés à leur fonctionnement ou leur taphonomie (Huisman et al., 2012 ; Mallol et al., 2017). Ainsi, plusieurs chercheurs attestent de feux anthropiques, en s'appuyant sur la présence de résidus de combustion présents dans des paléosols (Gebhardt, 1993).

Les découvertes récurrentes de marqueurs de feu (charbon, phytolithe, cendre, sol brûlé) associés à des traces de déforestations (chablis ou traits pédologiques de perturbation assimilés) ont été employés par Goldberg et Macphail (2006) pour proposer un modèle général de technique de déforestation (Macphail et al., 1990 ; Macphail et Goldberg, 1990). Celui-ci comprend l'annélation des arbres (écorçage en anneau) pour provoquer leur mort et faciliter leur dessouchage par renversement, puis leur combustion directement sur place. Les auteurs précisent que la mise à feu de chablis naturels a également pu être entreprise de manière opportuniste, et qu'il est difficile d'attester avec certitude de l'origine anthropique de ces faits. D'autre part, Deák et al. (2017) indiquent que des traces de foyers matérialisés par des sols rubéfiés peuvent être indirectement associés à des défrichements par le feu, puisque lors de certaines expérimentations d'essartage, des foyers sont parfois nécessaires à la production de braises (Rösch et al., 2004).

## 3. Feux agricoles : définitions et mise en évidence archéologique

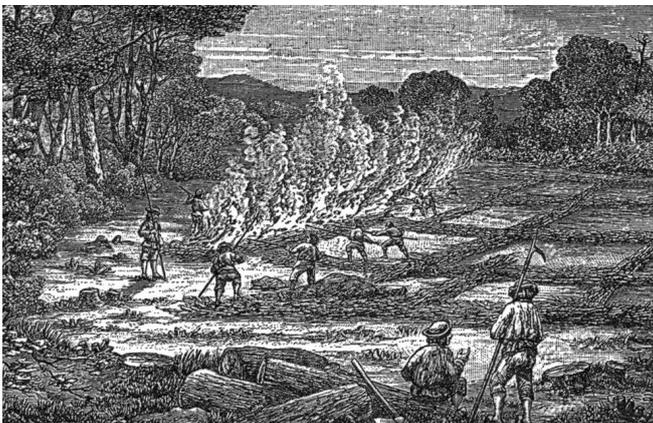
### 3.1. LES FEUX NATURELS

Les incendies naturels sont provoqués par la rencontre d'une source de forte chaleur (par ex. la foudre) avec un combustible, et en présence d'oxygène (Scott et al., 2014). Leur déclenchement et leur diffusion dépendent de plusieurs paramètres : le combustible (type, état, humidité, volume, répartition, etc.), les conditions météorologiques (température, précipitation, vent, etc.) et le contexte géomorphologique (topographie, hydrographie, végétation potentielle, etc.). L'interaction de ces variables est à l'origine d'une inflammabilité de la végétation et donc de régimes de feu très variables à l'échelle du globe (Power et al., 2008). Théoriquement, trois types de feu sont distingués selon la source de combustible : feu de surface (végétation de surface, litière), feu de cime (végétation aérienne), feu de (sous-)sol (horizon organique, tourbe ; Davis, 1959).

La combustion de la biomasse végétale entraîne la formation de nombreux produits : charbons, cendres, suies (black carbon), aérosols et divers composés volatils, dont une partie est incorporée et exportée dans le panache de fumée de l'incendie (Scott et al., 2000, 2014 ; Simoneit, 2002 ; Bodí et al., 2014). D'autre part, les incendies de surface peuvent entraîner des modifications physico-chimiques du sol : décomposition de la matière organique, accroissement de l'hydrophobicité, désagrégation, changements de couleur (Certini, 2005 ; Parsons et al., 2010 ; Mataix-Solera et al., 2011). Celles-ci sont en lien avec l'intensité des feux (flux d'énergie émise) et leur sévérité (impact sur l'écosystème ; Keeley, 2009), et sont, de plus, très variables d'un incendie à l'autre, mais également à l'échelle d'un même événement, où les sol brûlés présentent l'aspect de mosaïques chaotiques (Kushla et Ripple, 1997 ; Parsons et al., 2010 ; Scott et al., 2014). En particulier, la présence de concentrations de végétaux ou de troncs et branches au sol peut entraîner une combustion à forte température mais surtout prolongée en un même point, avec des surfaces de combustion rubéfiées superficielles (Goforth et al., 2005 ; Mataix-Solera et al., 2011). Aussi, et plus rarement, ils peuvent mener à la cuisson d'éléments du sol minéral en fragments de type brique, si ceux-ci sont déjà en surface lors du feu (Mataix-Solera et al., 2011 ; Scott et al., 2014). Toutefois, à une échelle globale, ce type de modification est relativement ponctuel, car les sols possèdent une mauvaise conductivité thermique, entraînant une décroissance rapide de la température dès les premiers centimètres sous la surface (Scott et al., 2014).

### 3.2. L'ESSARTAGE

L'essartage (slash-and-burn, swidden/shifting cultivation) correspond à un système agraire forestier itinérant reposant sur l'emploi du feu (Fig. 1 ; Barrau, 1972). Il consiste à



**Figure 1.** Détail d'une représentation d'un essartage (Dessin d'E. Rousseau, gravure sur bois, F. Depelchin, 1886, *Les forêts de la France*). Noter la disposition du combustible et la réserve de fûts.

« abattre une parcelle de forêt, brûler le bois, ensemercer le terrain une ou quelques années avant de l'abandonner de nouveau à la forêt » (Sigaut, 1975, 18). L'essartage était courant dans plusieurs régions d'Europe jusqu'au début du XX<sup>ème</sup> s. Aujourd'hui, il est essentiellement présent dans les régions tropicales, avec quelques variantes, où il correspond aux systèmes dits de culture sur brûlis, ou abattis-brûlis, pratiqués par plusieurs centaines de millions d'individus (Dounias et al., 2000). Si on relève plusieurs variantes d'exécution selon le type de milieu forestier concerné (primaire ou secondaire), l'essartage procède généralement par les mêmes grandes étapes : (1) abattage du bois, parfois concomitant à l'exploitation des écorces ; (2) séchage durant au moins une année ; (3) débitage et préparation du bois au sol, disposé en andains ou diversément ; (4) mise à feu en plusieurs points et suivi de la combustion par tirage du bois et aération, généralement contre le vent ; (5) nettoyage de la parcelle, voir rebrûlage des bois restants en tas (cherbottage) ; (6) semis dans la foulée et enfouissement au râteau ou à la herse, voire avec un araire spécifique. La mise en culture peut parfois durer quelques années, guère plus de trois ans, du fait qu'elle est tributaire de l'enrichissement apporté par l'important volume de cendres. Le travail du sol est réduit à son minimum, et bien que l'essartage s'apparente à un déboisement, il exclue strictement l'enlèvement des souches, qui seules permettront la reconstitution rapide du couvert végétal ligneux (Mazoyer et Roudart, 1997). La durée de l'abandon du terrain s'étale généralement entre une quinzaine et plus d'une cinquantaine d'années, et, est supérieure à la durée d'usage du terrain, d'où sa qualification d'itinérant. Après culture, le terrain peut également servir pour le pâturage.

Si les pratiques d'abattis-brûlis ont été abondamment documentées par les ethnologues, elles ont également suscité l'intérêt des archéologues et écologues, lesquels ont mis en place des expérimentations depuis plus de 50 ans (Iversen, 1956 ; Reynolds, 1977 ; Ehrmann et al., 2014 ; Kelm, 2014). Ces recherches visaient principalement à montrer la pertinence de l'essartage dans les régions non tropicales. Elles se sont surtout intéressées à des questions de productivité, de coût et de succession végétale. Finalement, relativement peu de travaux publiés sont disponibles concernant leurs effets physiques et produits (Ponomarenko et al., 2019), ceci certainement aussi du fait qu'ils sont assez limités comparés à ceux d'incendies sévères. En effet, le brûlage contrôlé et progressif permet d'obtenir une combustion relativement homogène, bien que les surfaces traitées puissent présenter des irrégularités, encroûtements, ré- ou désagrégations (Eckmeier, Gerlach, et al., 2007 ; Herrmann et al., 2007 ; Schulz et al., 2014 ; Thomaz, 2017). La stabilité structurale des sols peut ainsi être réduite ou améliorée, comme pour les feux naturels.

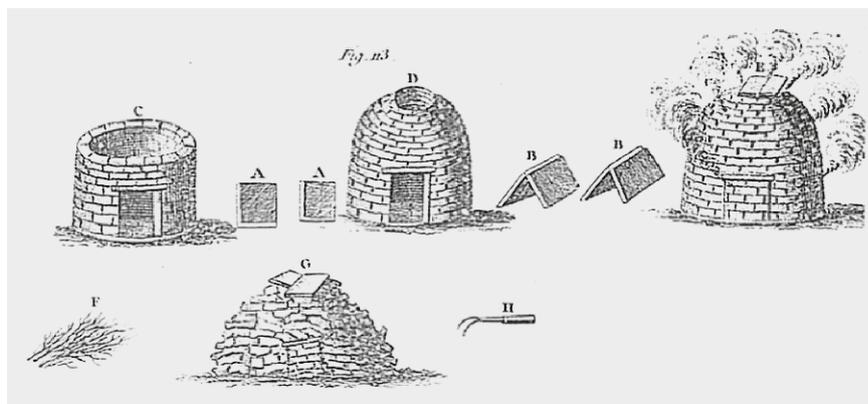
La texture de l'horizon de surface est un paramètre primordial où seuls les contextes dominés par des textures fines sont avantagés par le feu (Mataix-Solera et al., 2011 ; Thomaz, 2017). Toutefois, l'importance de la chauffe sur la cimentation des agrégats de sol n'est pas clairement établie dans la littérature (Thomaz, 2017), et la présence ou non d'agrégats de sol brûlés superficiellement pourrait s'expliquer par des modalités de combustion du feu, qui ne sont pas toujours analogues avec les procédés « traditionnels » (diamètre et disposition du bois, roulage des bûches ; par ex. Ketterings et al., 2000). Seule la réalisation de foyers adjacents aux champs essartés présente des modifications thermiques importantes (Schulz et al., 2014), que l'on devrait pouvoir comparer à celles observées par exemple sous les feux d'amas de bois (*pile-burning* ; Pastor et al., 2010 ; Smith et al., 2016). Toutefois, il n'est pas fait mention de tels foyers dans la documentation agronomique (Sigaut, 1975). Enfin, après les cendres, les charbons de bois constituent le produit le plus important de cette pratique, bien que leur quantité peut paraître relativement limitée en comparaison du volume de bois brûlé, du fait que la combustion se déroule principalement sans déficit d'oxygène (Eckmeier, Rösch, et al., 2007). Leur enfouissement partiel via l'activité biologique, en fait un marqueur indissociable de cette pratique, bien que leur variabilité quantitative et spatiale nécessite de plus amples recherches (Eckmeier, Gerlach, et al., 2007 ; Reynolds, 1977). Finalement, il nous semble que ces expérimentations d'essartage offrent des possibilités de référentiels de marqueurs environnementaux encore sous exploités pour l'étude de cas archéologiques et paléo-environnementaux (Ponomarenko et al., 2019).

### 3.3. L'ÉCOBUAGE

L'écobuage au sens classique se rapporte à plusieurs systèmes agricoles, dont la préparation du champ repose sur une méthode de combustion complexe du sol superficiel, par la réalisation de fourneaux (Fig. 2 ; Sigaut, 1975). Diverses variantes existent dans de nombreuses régions du

globe, et des écosystèmes variés : landes, prairies denses, pâtures, zones tourbeuses ou inondées, etc. (Bouteyre, 1958 ; Guillot, 1973 ; Dzaba, 1987 ; Nzila, 1992 ; Jobbé-Duval et al., 2007). L'écobuage est attesté en France au XVIII<sup>e</sup> et XIX<sup>e</sup> s. par de nombreux auteurs (Sigaut, 1975), et malgré un rapide déclin coïncidant au développement de la mécanisation agricole et des engrais chimiques, il persista très ponctuellement jusque dans les années 1950 (Portères, 1972 ; Métailié, 1999). Contrairement à l'essartage, la cyclicité culturelle est plus réduite. De manière théorique, on observe (1) des systèmes de culture temporaire, où la période de friche est largement supérieure à celle de la durée d'usage de la terre, cultures et pâtures confondues, et (2) des systèmes de culture permanente où les terres restent en usage (herbage, pâturage).

Cette pratique culturelle se déroule généralement selon les opérations suivantes : (1) écroûtage, pelage de la terre ou dégazonnement ; (2) séchage de la terre et des herbes maintenues ; (3) construction des fourneaux de combustion ; (4) mise à feu ; (5) épandage des résidus, possible labour ; (6) semis, parfois directement sur les buttes de combustion non épandues. L'extraction de la couche superficielle du sol rapproche l'écobuage de l'étrépage, excepté que dans ce cas, le sol est exporté, impliquant un transfert de fertilité à l'échelle du terroir, là où l'écobuage vise à une amélioration in situ de la fertilité. Par ailleurs, en Europe de l'ouest jusqu'au XVIII<sup>e</sup> s., le terme écobuage ne s'appliquait qu'à l'action de peler la terre (Portères, 1972). Cet écroûtement peut se faire de manière très superficielle jusqu'à quelques dizaines de centimètres selon les caractéristiques des sols travaillés (matière organique, texture, réseau racinaire, etc. ; Moreau et al., 1998 ; Jobbé-Duval et al., 2007). La structure du sol prélevé (par ex. plaques de gazon ou mottes) va conditionner les structures de combustion, dont la complexité et les dimensions sont très variables (1 à 3 m de diamètre extérieur), allant de simples tas de mottes retournées à celles de véritables fourneaux où les plaques de sols font office de maçonnerie, avec porte frontale et ajout de combustible pour l'armature (Fig. 2).



**Figure 2.** Extrait d'une illustration de l'écobuage vu par Duhamel Du Monceau en 1760 (Des semis et plantations des arbres, et de leur culture ; Source gallica.bnf.fr / BnF). A et B sont les plaques de gazons servant à la maçonnerie des fourneaux. Le fourneau en haut à droite (E) est en cours de combustion, et celui en bas (G) est entièrement consommé. Noter l'aménagement d'une porte et d'une ouverture au sommet du fourneau.

L'écobuage, par sa combustion lente et à couvert va entraîner une cuisson notable des mottes de sols employées pour ses structures (Fig. 3). Si leur fraction minérale et en particulier celle argileuse est suffisamment importante, ces mottes peuvent être changées en « brique » (Nicolai, 1961 ; Jobbé-Duval et al., 2007). D'ailleurs, quelques auteurs mentionnent que dans certaines régions l'écobuage été pratiqué avant tout dans l'objectif de cuire l'argile (Portères, 1972). Vraisemblablement, selon les cas, les éléments du sol peuvent être exposés à une cuisson plus ou moins oxydante, rubéfiante ou noircissante, engendrant une plus ou moins grande hétérogénéité des buttes écobuées (Nzila, 1992 ; Jobbé-Duval et al., 2007). Par contre, les surfaces sous les structures ne semblent que peu affectées par la chauffe, de manière comparable au cas des plateformes de charbonnage (Gebhardt, 2007 ; Powell et al., 2012). Bien qu'il puisse être uniquement composé d'éléments non ligneux (Sigaut, 1975), la disposition du combustible au bas des structures en condition de basse température de chauffe (maximum de 420 °C selon Moreau et al., 1998), implique une pyrolyse limitée et une importante carbonisation de celui-ci (Chabal et al., 1999). Enfin, il faut évidemment tenir compte du fait que ces résidus peuvent être volontairement remaniés par épandage et labour, mais ici, le manque de documentation ne permet pas d'aller plus loin.

### 3.4. L'ESSARTAGE À COUVERT

Malgré les spécificités évidentes des deux systèmes précédents, quelques descriptions historiques documentent une pratique mixte : l'essartage à feu couvert. Il consiste en la réalisation de fourneaux, qui contrairement à l'écobuage, incluent cette fois des quantités importantes de bois, notamment des fûts, recouverts de mottes de sols (Blache, 1923). Cette technique est appliquée à des



**Figure 3.** Buttes d'écobuage après leur combustion sur les pelouses denses en cordillère de Cochabamba, Bolivie (Illustration de Jobbé-Duval et al., 2007).

boisements fortement engazonnés, mais il est aussi possible que les deux composantes, bois et sols, proviennent de zones attenantes à la parcelle traitée (par ex. apports de rejets de coupes forestières sur des terrains gazonnés ; Blache, 1931 ; Sigaut, 1975). Ce cas possède l'intérêt d'illustrer la complexité des techniques du feu, et que de manière empirique « toutes les transitions sont possibles entre l'essartage proprement dit (à feu courant) et l'écobuage » (Sigaut, 1975). Bien que l'on ne dispose pas de documentation précise sur ces produits, on peut supposer que les mottes de terres des structures subiront des transformations au moins aussi importantes que pour l'écobuage classique. En effet, la présence de fûts et de branches va vraisemblablement entraîner une combustion à relativement plus haute température, tel qu'on l'observe pour les charbonnières (Paradis-Grenouillet, 2012 ; Powell et al., 2012 ; Dupin et al., 2017). Le combustible ligneux devrait être au moins partiellement carbonisé, selon que la cuisson des fourneaux soit réalisée intégralement à couvert, ou qu'elle implique des arrangements particuliers, comme la réalisation de creusements sous les structures pour la circulation d'oxygène (Sigaut, 1975).

### 3.5. AUTRES FEUX AGRO-SYLVO-PASTORAUX

Un des emplois assez commun du feu dans les itinéraires agricoles est celui du brûlage à feu courant, notamment pour le déchaumage, afin de détruire les mauvaises herbes en surface et certains parasites encore présents dans les chaumes laissés sur le terrain fauché (feu de post-récolte). Sigaut (1975) décrit également un procédé appelé brûlot qui consiste à mettre le feu à diverses plantes récoltées, séchées et mises en tas dans les champs. Par ailleurs, dans le cas des contextes tourbeux, du fait de leur richesse en matière organique, l'écobuage procède sans réalisation de fourneau, les mottes de tourbes extraites et séchées étant alors brûlées à feu courant (Sigaut, 1975). Ces exemples illustrent les formes de transition possibles entre feux courants et écobuage classique. Le feu courant occupe également une place importante dans le cadre des pratiques pastorales, dans l'objectif de l'entretien et de la régénération des pâtures : renouvellement de l'herbe, augmentation de l'appétence, lutte contre les parasites, suppression de la végétation ligneuse (Métaillé, 1996 ; Dumez, 2010).

Ce sont ces feux pastoraux qui sont souvent improprement mentionnés comme écobuage (Dumez, 2010 ; Ribet, 2011). Aujourd'hui, en France, ces feux sont pratiqués dans les espaces ouverts d'altitude, herbacés à buissonnants, avec des fréquences de un à dix ans (Métaillé, 1996 ; Ribet, 2011). Toujours en lien avec les techniques pastorales, il est intéressant de mentionner que d'après quelques rares auteurs, l'essartage pouvait être employé directement pour l'établissement d'une prairie temporaire (Montelius, 1953 ; Sigaut, 1975). Enfin, ajoutons que

le brûlage courant et extensif n'est pas proprement une technique culturale ou pastorale, puisqu'il est utilisé dans le cadre d'activités cynégétiques, pour la favorisation ou la fructification de certaines espèces végétales (artisanat ou cueillette), ou encore pour faciliter la récolte de cultures bien précises (Bruzon, 1990 ; Dumez, 2010).

### 3.6. PROPOSITION D'UN MODÈLE THÉORIQUE DES PRODUITS POTENTIELS DES FEUX

Si la documentation nous manque pour certaines pratiques bien particulières, la compréhension des modalités de mise à feu permet de supposer les résidus qu'elles peuvent produire ou non. Par exemple, les feux courants de milieux herbacés, naturels ou anthropiques, sont peu susceptibles d'être identifiés dans les archives pédo-sédimentaires car ils concernent principalement une végétation non ligneuse et ils n'affectent que de manière indirecte le sol sous-jacent (apport de cendre). Toutefois, ils sont susceptibles d'être mis en évidence de manière indirecte, par le transport aérien de particules dans des réceptacles sédimentaires humides (Jensen et al., 2007 ; Courtney Mustaphi et Pizaric, 2014). La Figure 4 est une proposition de modèle général des produits potentiels de différents types de feux selon leurs modalités.

Evidemment, cette approche synthétique possède certaines limites, comme le manque de référentiels pour certaines pratiques, la non prise en compte d'autres marqueurs du feu, ou, la non considération d'évènements extrêmes ou liés à des contextes géo-climatiques précis (Fitzpatrick et al., 2014 ; Roperch et al., 2017). Elle est complémentaire à une grille de lecture plus détaillée (Guiblais-Starck et al., en préparation) et se veut comme une première proposition pour discuter des interprétations des indices micro- et macroscopiques des feux agricoles.

## 4. Cas d'étude : les résidus de combustion de Transinne (Ardennes)

### 4.1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

L'observation de traces de combustion dans un profil au cours d'une prospection pédologique menée par R. Langohr et K. Fechner, a suscité l'intérêt de leur échantillonnage en vue d'une caractérisation. En effet, leur mise au jour dans une région où des pratiques agricoles comme l'essartage sont relativement bien documentées dans les archives historiques, pouvait supposer un lien avec ces vestiges. Découvertes dans une carrière de kaolin en cours d'exploitation, servant régulièrement de champ d'étude pédologique (Bock et al., 2010), un prélèvement en bloc de ce sol a été réalisé. Le site est localisé à environ 2 km au nord du centre de Transinne (Fig. 5 ; Libin, 6890, Belgique), sur un sommet de plateau à environ 440 m d'altitude.

La carrière est enclavée au sein d'un important massif forestier comprenant différents peuplements, hêtraies et chênaies acidophiles, taillis de bouleaux, stades pionniers herbacés de type lande, auxquels s'ajoutent des plantations d'épicéas et de pins sylvestres d'âges variés. Sur les cartes de Ferraris (1770-1778), la localité se situe à l'interface entre une zone boisée au nord (haute futaie) et une zone ouverte (bruyère) au sud (Fig. 5a). C'est également le cas sur les cartes établies par Vandermaelen (1846-1854) et celle du dépôt de la guerre (1865-1880 ; Fig. 5b), dont la précision topographique est plus grande (<http://geoportail.wallonie.be>). Nous avons privilégié la caractérisation des résidus de combustion via des méthodes qui nécessiteront des analyses complémentaires, mais qui fournissent de premières informations pertinentes sur les processus de formation de ces éléments. Ce travail ne vise donc certainement pas à établir une méthodologie de référence pour l'étude de tels vestiges, mais plutôt à montrer qu'ils possèdent un intérêt notable pour les géoarchéologues.

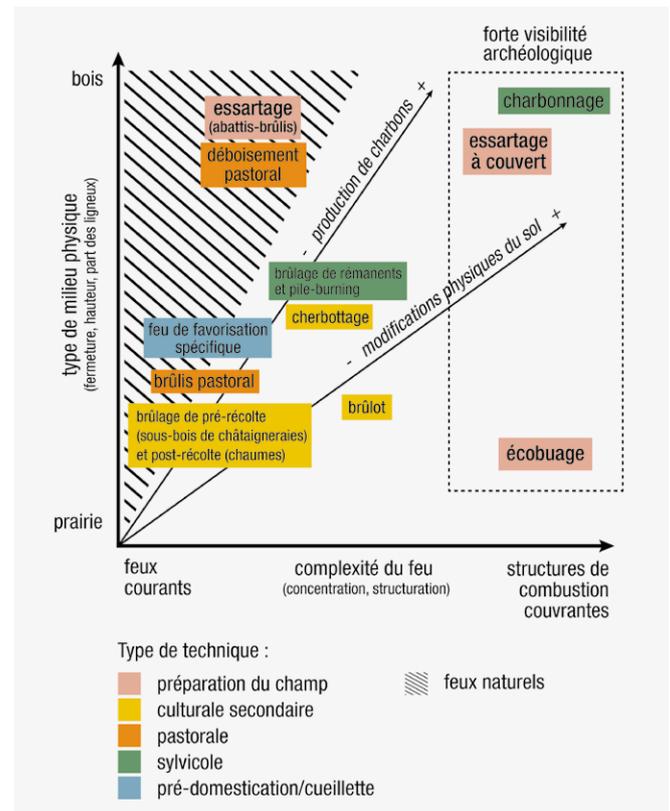
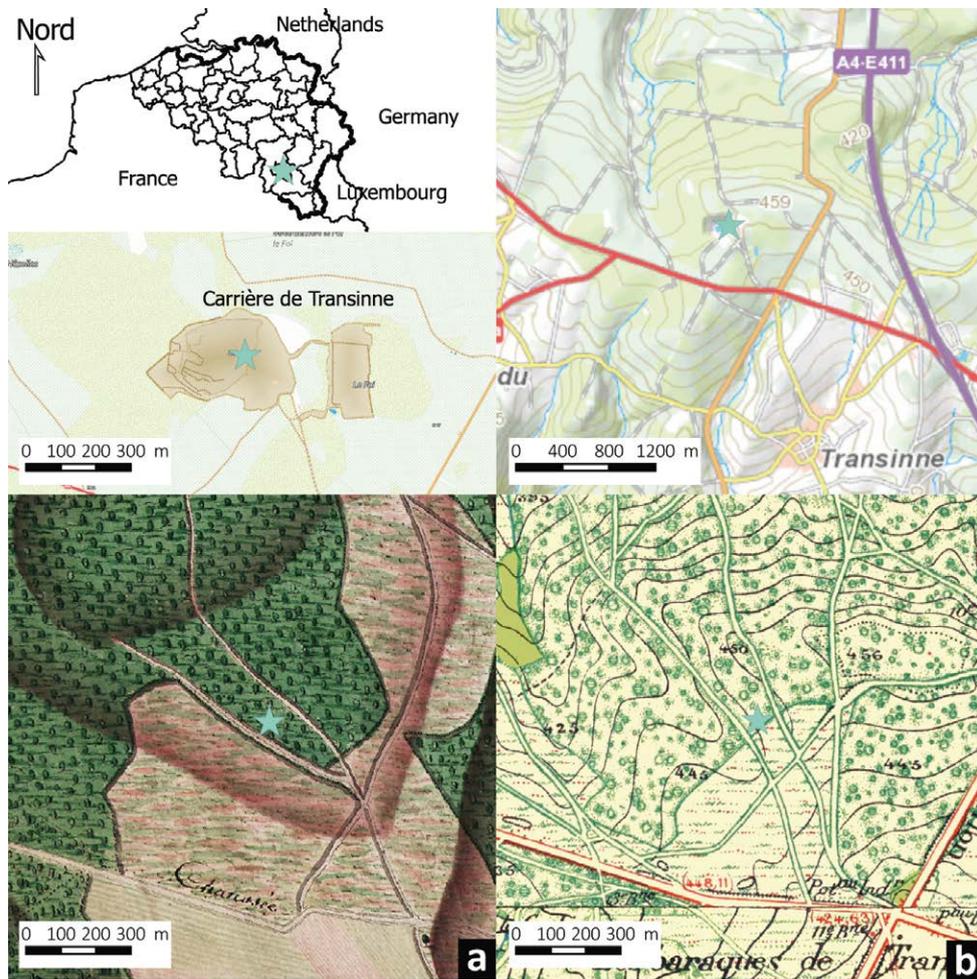


Figure 4. Synthèse théorique des modifications édaphiques induites par différents types de feu en fonction de leur milieu d'application (copyright C. Menbrivès).



**Figure 5.** Carte de localisation du site d'étude (fond cartographique TOPO IGN, sources des données: SPW, <http://geoportail.wallonie.be>) et position approximative sur les archives cartographiques anciennes (sources des données: SPW, <http://geoportail.wallonie.be>): (a) Cartes de Ferraris (1770-1778) et (b) carte du dépôt de la guerre (1865-1880).

#### 4.2. MATÉRIELS ET MÉTHODES

Un sous-prélèvement en bloc orienté centré sur les résidus de combustion a été réalisé pour la préparation d'une lame-mince (90 x 120 mm ; Laboratory of Mineralogy & Petrology, Ghent University). L'analyse micromorphologique a été faite sur microscope polarisant (Plateforme ArchéoScopie, MA&E René-Ginouès, Nanterre), en s'appuyant sur les référentiels géoarchéologiques des traits microscopiques (Nicosia et Stoops, 2017 ; Stoops et al., 2018). Une partie du bloc a été fouillée manuellement, selon quatre prélèvements continus partant du sommet du profil, avec tamisages successifs à 4, 2 et 1 mm. Les charbons de bois isolés ont fait l'objet d'une analyse anthracologique au microscope optique à réflexion (Laboratoire d'Archéobotanique, MA&E René-Ginouès, Nanterre), en se basant sur les descriptions anatomiques des bois européens (Schweingruber, 1990). Des échantillons homogénéisés de terre fine (< 2 mm) ont été préparés

pour la réalisation de cuissons contrôlées en laboratoire dans un four à moufle (Thermolyne). Des échantillons homogénéisés d'environ 5 g placés dans un creuset en porcelaine ont été cuits une fois durant une heure à des températures échelonnées de 50 °C entre 200 et 1000 °C. Une fois refroidis à température ambiante, deux paramètres ont été mesurés. La susceptibilité magnétique (S.M.), paramètre physique qui traduit la capacité d'un matériau à acquérir une aimantation sous l'effet d'un champ magnétique (Brodard, 2013), a été mesurée à l'aide d'un susceptibilitémètre portable MS3 équipé d'un capteur MS2E (Bartington). La couleur des échantillons a été mesurée avec un spectrophotomètre (Techkon SpectroDens), avec une source d'éclairage D65. Les résultats sont exprimés dans le système colorimétrique CIE-L\*a\*b\*, où L\* représente la luminance du noir (0) au blanc (100), et les paramètres a\* et b\* expriment les variables chromatiques respectivement selon les axes vert-rouge et bleu-jaune

(Viscarra Rossel et al., 2006). Les réflectances du spectre du domaine visible (longueurs d'onde de 400 à 700 nm) ont également été mesurées par paliers de 10 nm. La difficulté d'isoler les éléments de terre brûlée, qui présentent une faible cohérence, n'a pas permis de les quantifier (voir partie 4.3.2 et Fig. 7). Les refus de tamis ont donc été triés sous loupe binoculaire, afin d'obtenir suffisamment de résidus pour mesurer leur coloration et les comparer aux résultats des cuissons.

La coloration et les variables magnétique sont des paramètres fortement influencés par la chauffe, en particulier du fait qu'elle modifie les quantités de matière organique et la minéralogie des oxydes de fer présents. C'est pourquoi ces variables ont déjà été employées pour la caractérisation de températures de chauffe de céramique ou de sol (Mirti et Davit, 2004 ; Terefe Wondafrash et al., 2005 ; Lugassi et al., 2010 ; Rasmussen et al., 2012). L'approche testée dans cette étude est largement expérimentale d'une part du fait que nous n'avons testé qu'une partie des variables liées à la cuisson et au refroidissement du sol (Pernot et Frerebeau, 2018), et d'autre part que ces éléments de terre brûlée peuvent résulter d'une formation complexe (chauffe multiple, variabilité spatiale) et de processus taphonomiques difficiles à quantifier.

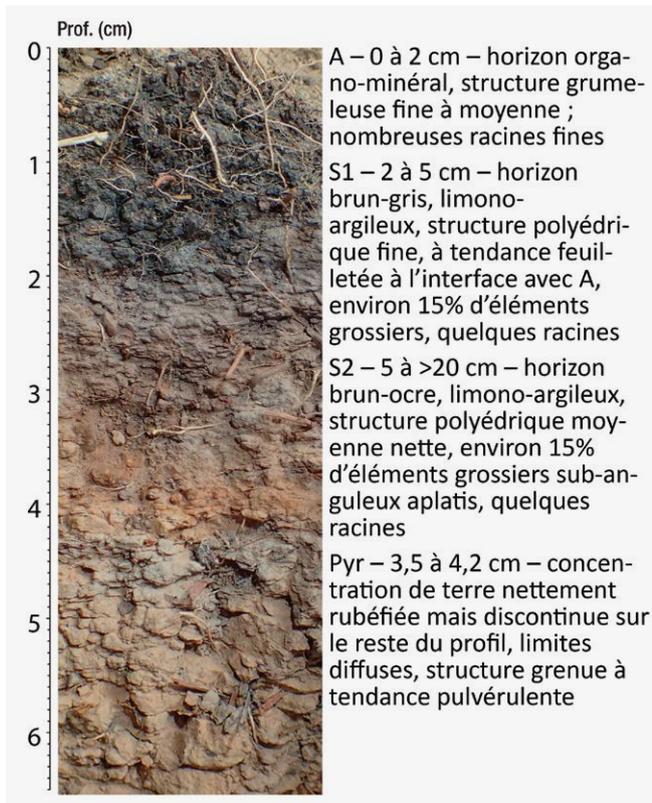


Figure 6. Photographie du sommet du profil pédologique du prélèvement présentant les traces de combustion et description des horizons observés sur l'ensemble du bloc.

## 4.3. RÉSULTATS

### 4.3.1. Observations générales

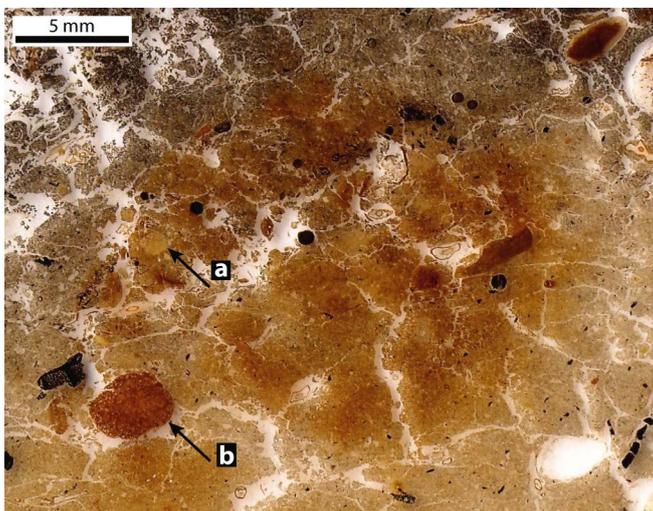
Le sol prélevé est développé à partir d'un matériau loessique et de produits d'altération de divers conglomérats, notamment de schistes, grès quartzitiques et siltites (Bock et al., 2010 ; Dumoulin et Blockmans, 2013). Il est très peu carbonaté et présente une texture limoneuse faiblement argileuse et peu caillouteuse (charge en gravier de 10 à 20 %), impliquant une assez faible portion de sables. Sa coloration générale est brun-ocre, mais plus grise dans les premiers centimètres sous l'horizon organo-minéral (Fig. 6), qui pourrait correspondre à un lessivage encore assez faiblement exprimé. Toutefois, nous n'avons pas noté de différenciation texturale marquée, de ce fait, ce sol peut être rattaché au groupe des sols bruns acides, ou Brunisols (Baize et Girard, 2009). Ajoutons que l'étude d'un profil pédologique proche de celui étudié, a révélé dans les 30 premiers centimètres la présence de bandes sub-horizontales d'argiles qui pourraient être liées au labour voire à l'ouverture du sol par des arbres incomplètement arrachés (Bock et al., 2010). A la même profondeur, de nombreux petits fragments de charbons ainsi que quelques rares fragments de terre cuite ont aussi été relevés. Le Tableau 1 présente les données générales des prélèvements du bloc étudié. La répétition des mesures de S.M. sur la terre fine homogénéisée des différents prélèvements ( $n=60$ ) montre que les valeurs les plus fortes se manifestent vers 10 cm de profondeur et sont plus homogènes que celles des échantillons supérieurs et inférieurs. Toutefois les mesures directes sur le bloc montrent une grande hétérogénéité spatiale avec des valeurs ponctuelles dans les premiers centimètres de l'horizon minéral qui dépassent  $1000 \times 10^{-5}$  uSI.

Tableau 1 Données édaphiques des prélèvements de sol de l'étude anthracologique

Prélèvement	Tra5	Tra10	Tra15	Tra20
Profondeur (cm)	2-7	7-12	12-17	17-22
Masse totale (g)	211	232	330	344
Masse graviers (g)	36	20	39	31
Eau résiduelle (%)	2,20	1,90	1,61	1,52
M.O. (%)	9,25	6,17	4,90	4,16
CaCO <sub>3</sub> (%)	1,56	1,57	1,55	1,63
Fragments charbons (nbre)	90	107	22	23
Masse charbons (mg)	16,57	13,00	5,38	9,16
Anthracomasse (mg/kg <sup>-1</sup> )	1491	1391	118	211
S.M. moyenne ( $\times 10^{-5}$ uSI)	54,67	88,73	53,20	26,80
S.M. écart-type	18,04	12,45	19,05	11,12

#### 4.3.2. Etude micromorphologique

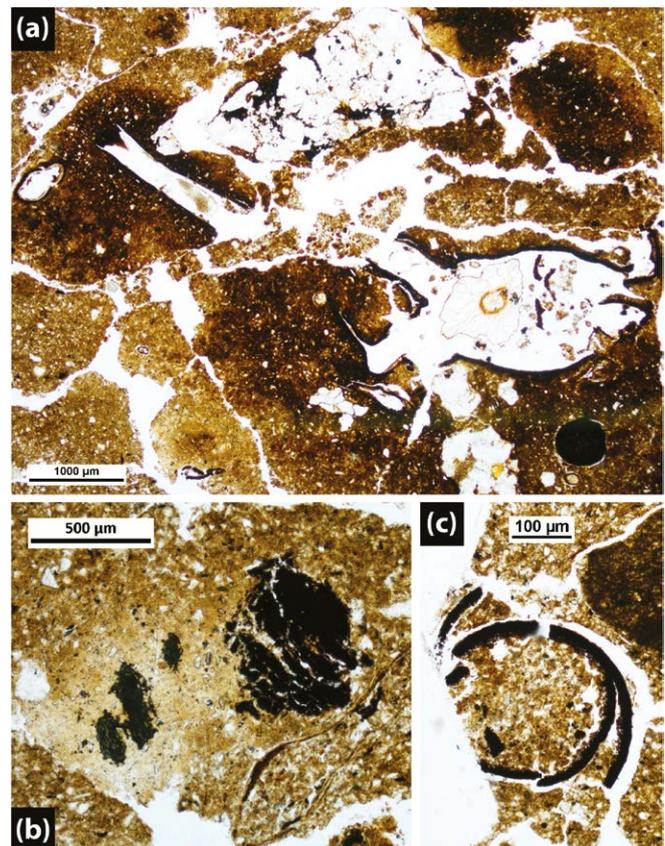
L'observation microscopique montre la présence de résidus liés à une combustion sur la totalité de la lame-mince. Aucun agencement général n'apparaît dans leur organisation si ce n'est des concentrations plus ou moins denses et étendues, surtout réparties à l'interface de l'horizon organo-minéral et les premiers centimètres inférieurs. La matrice présente des indices d'altération thermique plus ou moins marqués, dont la morphologie s'échelonne depuis des traces brunifiées diffuses, à des micro-agrégats arrondis nettement rubéfiés et bien distinct du fond matriciel (Fig. 7). Les zones brunifiées ou faiblement rubéfiées s'observent de l'échelle supra-centimétrique à millimétrique, supposant une désagrégation d'éléments chauffés relativement gros. La juxtaposition d'éléments plus ou moins fortement indurés et rougis au sein de certaines concentrations suppose des chauffés d'intensités hétérogènes, bien que toujours nettement en conditions oxydantes, ou des remaniements post-combustion. Les éléments rubéfiés ne présentent pas de différences texturales marquées avec le fond matriciel, mais certaines masses ont des microfissurations plus visibles, que l'on peut attribuer à la chauffe. A certains endroits, on remarque que ces agrégats sont associés aux bordures des fissures inter-agrégats du sol, donnant l'impression d'un important remaniement physique de ces résidus (aspect pulvérisé). Nous n'avons observé que quelques rares agrégats pédologiques infra-millimétriques carbonisés et plutôt arrondis, indiquant une chauffe en conditions réductrices. La présence assez sporadique de plagues millimétriques aux



**Figure 7.** Vue en lame mince (scan) d'une trace circulaire rubéfiée diffuse correspondant à un agrégat centimétrique brûlé en cours de désagrégation, tels que ceux observés lors de la fouille du bloc et difficilement individualisables. L'hétérogénéité des colorations au sein de cette masse et la présence d'agréats millimétriques de coloration nettement différenciée (a) suggère l'existence de remaniements mécaniques de différents horizons lors de sa formation. (b) Agrégat pédologique millimétrique nettement rubéfié et distinct du fond matriciel.

limites diffuses, plus jaunes et de texture fine (avec des proportions plus faibles en quartz; Fig. 8b) supporte l'hypothèse d'un mélange biomécanique d'agréats de différents horizons, potentiellement liés à des labours.

Plusieurs fantômes de végétaux englobés dans des masses rubéfiées sont visibles, dont certains correspondent vraisemblablement à des organes fructifères (Fig. 8a). De plus, des charbons de bois millimétriques et de nombreuses particules opaques carbonisées infra-millimétriques, difficilement identifiables et bien intégrées dans le fond matriciel apparaissent sur toute la surface de la lame. Ces particules ne montrent pas d'orientation particulière, par contre, quelques charbons dans la partie sommitale de l'horizon minéral présentent une position subhorizontale avec des fracturations liées à une compression verticale. On observe également, associés ou non aux zones chauffés, plusieurs jeunes tiges aériennes de dicotylédones carbonisées, de taille infra-millimétrique. Enfin, de nombreux sclérotés de champignon de morphologies variées sont



**Figure 8.** Photographies de quelques traits microscopiques observés en lame mince (PPL). (a) Reste végétal pris dans une masse de terre fortement rubéfiée en désagrégation, en bas à droite sclérote de champignon carbonisé. (b) Matière organique carbonisée amorphe dans une micro-plaque de texture fine intégrée dans le fond matriciel. (c) Paroi externe d'un sclérote carbonisé.

présents. Plusieurs sont carbonisés et présentent encore une structure interne, mais d'autres éléments correspondent certainement à des parois externes de sclérote plus ou moins désintégrés (Fig. 8c), ce qui pourrait indiquer des températures de combustion de l'ordre de 550 °C mais aussi plus basses (Scott et al., 2010).

#### 4.3.3. Etude anthracologique

Les charbons de bois, peu visibles en coupe, se révèlent relativement abondant au tamisage. Les deux prélèvements supérieurs montrent des anthracomasses comparables et nettement plus élevées que ceux réalisés plus bas (Tableau 1). L'analyse a porté sur 242 charbons, presque tous inférieurs à 2 mm de diamètre, rendant l'identification assez difficile. Les résultats sont présentés dans le Tableau 2. Seuls 152 fragments ont pu être déterminés au niveau du genre, mais au moins 10 espèces sont distinguées, ce qui peut sembler relativement élevé au vu du faible volume de sol traité. Nous n'avons pas pu identifier avec certitude d'éléments racinaires, par contre, au moins une dizaine de fragments présentent une moelle de tige aérienne, et sept autres des cernes de croissance très fortement courbés. De plus, 23 charbons montrent une nette vitrification, voire une fusion partielle des éléments anatomiques. Le chêne (*Quercus* sp.) n'a pas toujours pu être distingué du châtaignier (*Castanea sativa* Mill.), mais ce dernier n'est pas présent dans la région (Lambinon et Verloove, 2012). L'anatomie des Maloideae suppose que les deux fragments trouvés proviennent d'espèces différentes (fréquence des épaisissements spiralés et largeurs de

rayons), mais l'identification au genre est difficile. Enfin, aucune gymnosperme n'a été trouvée et les taxons reconnus peuvent tous correspondre à des espèces locales. Le classement des taxons selon leurs groupes fonctionnels (Rameau, 1999) montre que les espèces des phases pionnières sont très bien représentées, ainsi que celles de phases forestières transitoires. *Fagus sylvatica*, espèce de fin de succession forestière, est présent en faible quantité.

#### 4.3.4. Susceptibilité magnétique

La Figure 9 présente les résultats de l'analyse de la susceptibilité magnétique (S.M.) des chauffes expérimentales. Les courbes montrent une évolution relativement similaire mais avec des amplitudes très différentes selon la profondeur correspondante de l'échantillon. Pour celui de surface, la S.M. croît nettement à partir de 450 °C jusqu'à 600 °C. Après une chauffe à 650 °C cette valeur a drastiquement baissé. Puis, elle ré-augmente nettement à 700 °C avant de diminuer progressivement jusqu'à 850 °C. Ces changements sont beaucoup moins marqués pour les échantillons profonds, et sont globalement corrélés à l'importance de la matière organique des échantillons. Ces variations s'expliquent par les transformations minéralogiques des oxydes de fer présents initialement dans le sol, entre des formes dont le comportement magnétique spontané est faible (goethite, hématite), à d'autres dont celui-ci est fort (magnétite, maghémite), et inversement, à différentes températures (Cornell et Schwertmann, 2003; Brodard, 2013). Les très fortes valeurs de la S.M. indiquent vraisemblablement la formation de magnétite et/ou

Tableau 2 Résultats anthracologiques présentant le nombre et la masse de charbons par taxons et prélèvements

Echantillon (profondeur)	Nombre				Masse (mg)				Nbre tot.	Masse tot. (mg)		
	5	10	15	20	5	10	15	20				
<b>Fagaceae</b>	<i>Fagus sylvatica</i> L.	Hêtre	3	3 (5)	1 (1)	6	8 (8)	3 (2)	<b>13</b>	<b>27</b>		
	<i>Quercus</i> sp.	Chênes	4	5		28	37		<b>9</b>	<b>65</b>		
	<i>Castanea/Quercus</i>	Châtaignier/Chêne	13 (1)	16 (4)	1 (2)	3	54 (1)	59 (10)	1 (2)	3	<b>40</b>	<b>130</b>
<b>Betulaceae</b>	<i>Alnus</i> sp.	Aulnes		6	1		26	1	<b>7</b>	<b>27</b>		
	<i>Betula</i> sp.	Bouleaux	8 (4)	4	4	2	35 (5)	6	10	10	<b>22</b>	<b>66</b>
	<i>Alnus/Betula</i>			5	3		11	7	<b>8</b>	<b>18</b>		
	<i>Carpinus betulus</i> L.	Charme	(1)	2		(6)	3		<b>3</b>	<b>9</b>		
	<i>Corylus avellana</i> L.	Noisetier	4 (4)	23 (4)	1		7 (35)	51 (6)	1	<b>36</b>	<b>100</b>	
	<i>Carpinus/Corylus</i>		3				10		<b>3</b>	<b>10</b>		
	<b>Betulaceae inid.</b>		9	2	1		13	4	1	<b>12</b>	<b>18</b>	
<b>Salicaceae</b>	<i>Salix</i> sp.	Saules			2	1		1	3	<b>3</b>	<b>4</b>	
	<i>Populus/Salix</i>	Peupliers/Saules	1	3		1	7	5	3	<b>5</b>	<b>15</b>	
<b>Aceraceae</b>	<i>Acer campestre</i> L.	Érable champêtre		(1)	1		(1)	2		<b>2</b>	<b>3</b>	
<b>Caprifoliaceae</b>	<i>Viburnum opulus</i> L.	Viorne Obier		1			2			<b>1</b>	<b>2</b>	
<b>Rosaceae</b>	<b>Maloideae</b>			2			5			<b>2</b>	<b>5</b>	
	<b>Angiosperme dicotylédone</b>		28	10	3	4	37	12	4	3	<b>45</b>	<b>56</b>
	<b>inidentifiable</b>		7	11	4	9	11	34	5	23	<b>31</b>	<b>73</b>

Les valeurs entre parenthèses correspondent aux fragments incertains (cf.). Le dégradé de gris indique du plus clair au plus foncé les taxons pionniers, post-pionniers/nomades, et dryades

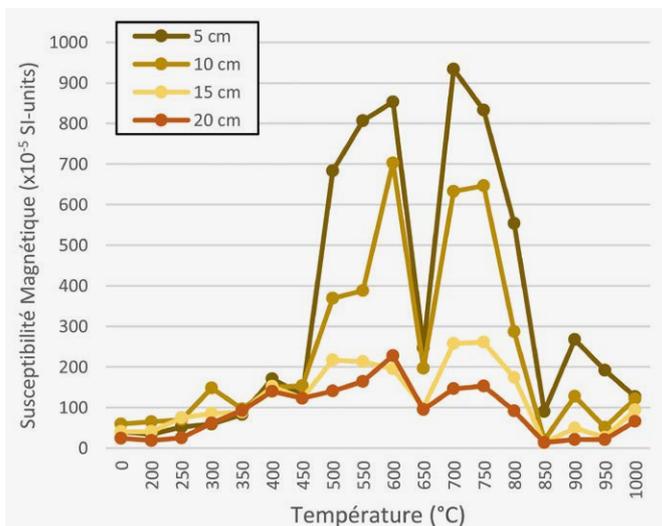
maghémite. Les faibles valeurs mesurées à 650 °C pourraient alors s'expliquer par la transformation de ces oxydes en hématite, dont le point de Curie est proche ( $\approx 683$  °C). Toutefois, la réapparition de valeurs élevées entre 700 et 800 °C suppose la réapparition de formes ferrimagnétiques qui ne sont pas encore transformées en hématite, par exemple de la maghémite issue de formes passant par des transformations intermédiaires (ferrihydrite ou lépidocrocite ; Cornell et Schwertmann, 2003). Bien que des analyses supplémentaires soient nécessaires pour préciser ces variations, deux résultats encore préliminaires peuvent être avancés : la matière organique joue un rôle important sur les changements minéralogiques et l'acquisition d'un comportement magnétique, et, selon les paramètres de cuisson testés, les agrégats rubéfiés correspondraient à une chauffe comprise entre 500 et 800 °C.

#### 4.3.5. Coloration

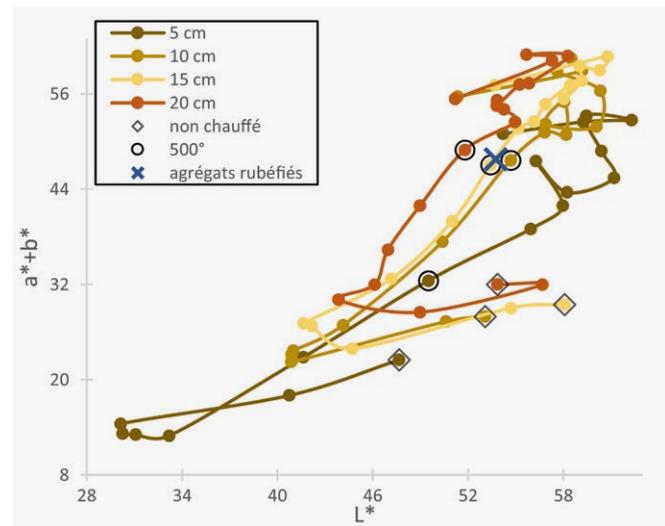
La Figure 10 présente les résultats des mesures colorimétriques des échantillons chauffés. Puisque les paramètres chromatiques  $a^*$  et  $b^*$  présentent une bonne corrélation (coeff. Pearson = 0.959), ils sont additionnés. L'évolution de la coloration au cours de la chauffe est assez similaire pour les trois échantillons les plus profonds, mais les variations sont beaucoup plus marquées et n'interviennent pas aux mêmes seuils de température pour l'échantillon supérieur. Globalement, on remarque d'abord un assombrissement, puis la teinte des échantillons devient progressivement plus jaune-rouge et s'éclaircit, avant de montrer des variations plus ou moins désordonnées aux plus fortes températures testées. Ces variations peuvent

s'expliquer par la carbonisation et l'oxydation progressive de la matière organique jusque vers 550 °C (Ulery et Graham, 1993), et selon les échantillons, à partir de 200-300 °C par la formation d'oxydes de teinte rouge, comme l'hématite rouge-sang et la maghémite rouge-brun (Cornell et Schwertmann, 2003). Les valeurs chromatiques ( $a^*$  et  $b^*$ ) des échantillons non chauffés sont proches de celles mesurées pour des goethites synthétiques (Cornell et Schwertmann, 2003, p. 132), ce qui semble confirmer l'importance de cet oxyhydroxyde dans la composition minéralogique initiale (coloration jaune). De plus, l'observation individuelle des courbes de la première dérivée des mesures de réflectance (données non présentées) confirme l'importance de l'hématite par l'augmentation progressive des valeurs entre 540 et 570 nm avec la chauffe (Deaton et Balsam, 1991 ; Zhou et al., 2010).

La projection de la coloration « moyenne » des agrégats rubéfiés sur le graphique se superpose aux colorations mesurées pour les échantillons à 10 et 15 cm de profondeur à 500 °C. L'échantillon situé à 20 cm de profondeur à la même température est assez proche, par contre, celui de 5 cm le plus proche correspond à une température qui s'élève à 650 °C. L'observation individuelle des spectres de réflectance confirme que l'échantillon situé à 15 cm et chauffé à 500 °C possède des colorations statistiquement très proches des agrégats rubéfiés. Enfin, sur l'axe chromatique bleu-jaune ( $b^*$ ) observé individuellement, l'échantillon à 5 cm de profondeur n'atteint une valeur comparable à celle des agrégats rubéfiés seulement à partir de 800 °C, contre 550 °C pour les autres.



**Figure 9.** Evolution de la susceptibilité magnétique en fonction des températures de chauffe des échantillons de terre fine de différentes profondeurs.



**Figure 10.** Evolution de la coloration des échantillons aux différentes températures de chauffe selon leur clarté ( $L^*$ ) et leur chromaticité totale ( $a^*+b^*$ ) correspondant à un axe théorique bleu-vert (en bas) à jaune-rouge (en haut). Les losanges correspondent aux échantillons de sol non chauffés (séchés à température ambiante) et les cercles aux échantillons chauffés à 500 °C.

## 5. Discussion

### 5.1. INTERPRÉTATION DES RÉSIDUS DE COMBUSTION DE TRANSINNE

Les approches employées suggèrent une relative complexité des processus de combustion réels liés aux résidus identifiés et soulignent la nécessité de diversifier les méthodes de caractérisation. Le Tableau 3 présente de manière synthétique les résultats de cette étude et leurs principales limites. En effet, en l'absence actuelle de datations absolues, il est difficile de préciser si ces indices proviennent d'un ou plusieurs évènements cumulés, et de discuter de l'importance des phénomènes taphonomiques au cours du temps. De plus, la restriction spatiale des observations ne permet pas de discuter de leur extension. Malgré cela, il nous semble pertinent de discuter les processus de formation de ces résidus vis-à-vis des connaissances sur les feux naturels et agricoles présentés plus haut. En effet, l'absence d'indices archéologiques associés aux résidus permet de s'orienter vers l'hypothèse de tels évènements.

Si l'on suppose fortement la concomitance de la formation des éléments rubéfiés et d'au moins une partie des végétaux carbonisés, de par leur agencement ponctuel, la présence récurrente de tiges végétales aériennes microscopiques carbonisées peut paraître étonnante dans le cadre d'une combustion en conditions oxydantes, qui

devrait entraîner une combustion (production de cendres) facilitée des petits éléments végétaux. Par contre, cette observation serait cohérente dans le cas d'une combustion couverte. Si la nette coloration rouge de certains agrégats permet de supposer une chauffe de forte intensité, différents travaux montrent que le degré de rubéfaction doit être considéré avec précaution, car ce paramètre est très variable selon la composition du matériel considéré (Canti et Linford, 2000). Suivant ce constat, il est pertinent de réaliser des cuissons contrôlées afin d'obtenir un référentiel colorimétrique spécifique. D'une part, les températures estimées des agrégats rubéfiés isolés (a priori les plus résistants ?) ne sont pas très élevées, et d'autre part, les couleurs correspondent plus certainement à des agrégats provenant de l'horizon minéral à 10-15 cm de profondeur. Ce résultat est relativement incohérent avec les données de températures mesurées lors d'incendies naturels, qui, bien qu'elles peuvent indiquer des valeurs supérieures à 500 °C en surface du sol, montrent une rapide décroissance dès les premiers centimètres inférieurs (Neary et al., 1999 ; Scott et al., 2014 ; Jordanova et al., 2018). Les agrégats rubéfiés indiquent donc une combustion affectant un horizon minéral mis à nu, soit par des perturbations naturelles, soit par une action anthropique volontaire.

Les traits micromorphologiques de perturbation ou de remaniement identifiés ne permettent pas de trancher

Tableau 3 Synthèse de l'analyse des résidus de combustion du bloc de Transinne

Méthodes	Résultats	Interprétations ou hypothèses	Limites et biais
Micromorphologie	charbons de bois, tiges carbonisées de dicotylédones	végétation ligneuse évoluée et jeune	
	altérations thermiques : traces brunes diffuses à des agrégats nettement rubéfiés et individualisés ; quelques agrégats carbonisés infra-millimétriques	chauffe principalement en condition oxydante, mais d'intensité variable	
	végétaux englobés dans des masses brûlées	préparation du sol ou remaniements mécaniques avant combustion	observations ponctuelles sur une surface réduite, morphologie de certains résidus de combustion parfois limitée
	nombreuses particules carbonisées microscopiques intégrées dans le fond matriciel	forte production de résidus carbonisés ou importants remaniements biomécaniques post-dépositionnels ?	
	fragmentation verticale de charbons subhorizontaux	tassement ou compaction post-dépositionnels	
	concentrations texturales fines jaunâtres	remaniements biomécaniques, possible labour ou apports latéraux lors du dépôt ?	
Anthracologie	végétation pionnière bien représentée mais également espèces de fin de succession forestière ; richesse taxonomique élevée sur un volume réduit ; absence de résineux	feux cumulés ou combustible volontairement concentré (structure de combustion) ? feux antérieurs aux plantations forestières (contemporaines ?) feux succédant à une perturbation du milieu (milieu ouvert) ou végétation boisée anthropisée	validité spatiale de l'information anthracologique non connue, datations absolues manquantes
Cuissons expérimentales	courbes d'évolution de la S.M. en fonction de la température ; forte S.M. des agrégats rubéfiés ; corrélation à l'importance de la M.O.	chauffe entre environ 450 et 800°C pour l'obtention de valeurs de S.M. du même ordre agrégats provenant de l'horizon de surface ?	spécificités de la combustion réelle non reproduites en laboratoire ; modalités de durée de cuisson et de refroidissement testées uniques
	courbes d'évolution de la coloration selon la température ; coloration "moyenne" des agrégats rubéfiés ; spectres de réflectance	agrégats provenant de l'horizon minéral à 10-15 cm de profondeur, chauffés vers 500°C	

vers l'une ou l'autre hypothèse, et, nous n'avons pas d'indices incontestables qui permettent d'appuyer l'existence d'un chablis (Langohr, 1993 ; Bobrovsky et Loyko, 2016). De plus les résultats anthracologiques sont clairement opposés aux arguments généralement considérés pour l'identification d'un chablis brûlé en place : charbons majoritairement mono-spécifique et racinaires (Goldberg et Macphail, 2006). Par contre, nos différents résultats ne montrent aucune contradiction apparente dans l'hypothèse de structures de combustion impliquant une concentration de combustible dans des fourneaux. D'un point de vue théorique, il s'agit même de l'explication la plus cohérente avec les spécificités de la combustion supposées : agrégats de sub-surface chauffés en atmosphère oxydante, carbonisation de tiges microscopiques, indices de pédoturbation au sens large. En l'état actuel de nos investigations, l'hypothèse de résidus de structures de combustion à couvert reste donc la plus probable.

### 5.2. FEU ET AGRICULTURE DANS LES ARDENNES

Le massif des Ardennes est un territoire géographique pour lequel on dispose d'une documentation historique relativement abondante concernant les pratiques agricoles du feu (Boutry, 1920 ; Noirfalise et Thill, 1959 ; Froment, 1968 ; Dupré, 2004). L'emploi récurrent de l'essartage a notamment joué un rôle relativement important dans l'évolution de la couverture boisée de certaines localités, en favorisant des essences héliophiles, qui rejettent facilement de souche (Bouleaux, Aulnes, Noisetier ; Berghen, 1970 ; Rameau et al., 1993). Le Chêne était en particulier intéressant pour l'essartage puisqu'il permettait une exploitation conjointe de son écorce pour la tannerie. D'ailleurs, il semble que cette industrie ait joué un rôle important dans le maintien de l'essartage à une époque récente (début du XX<sup>ème</sup> s.), où des taillis pouvaient être essartés très régulièrement pour maximiser la récolte d'écorces (une quinzaine d'années au plus court ; Sigaut, 1975). Après l'ouverture du terrain pour l'agriculture, des taillis herbeux se reconstituent et peuvent servir pour le pâturage. Les techniques agricoles avec combustion à couvert sont également connues dans les Ardennes, essartage à couvert et écobuage, bien que ce dernier était localement désigné sous le même terme que l'essartage (Boutry, 1920 ; Froment, 1968). Les archives, les descriptions techniques, et même les témoignages oraux démontrent donc leur importance localement, au moins durant les derniers siècles. Ce constat, bien qu'il ne constitue pas en soi un argument à notre interprétation, questionne d'une part la visibilité archéologique générale de ces pratiques, et d'autre part le relativement faible nombre de travaux menés sur la question (Herbauts et al., 1990). Il apparaîtrait donc pertinent de mettre en place des projets d'étude de plus grande envergure dans ce secteur, afin de pouvoir ensuite discuter de la mise en évidence

d'agricultures du feu dans des régions moins documentées, ou pour des périodes plus anciennes.

## 6. Conclusions

L'étude conduite à Transinne illustre la pertinence de caractériser plus précisément des traces de combustion a priori peu diagnostics. Le choix de méthodes d'analyse adaptées aux questionnements géo-archéologiques posés par les structures découvertes, s'il n'autorise pas forcément une interprétation définitive, devrait au moins permettre de préciser leur formation et leur fonctionnement : combustible, paramètres de la chauffe, etc. S'il est par ailleurs évident que ces faits archéologiques nécessitent une plus grande attention, et ce, dès leur mise au jour, il est aussi indispensable que les structures macroscopiques a priori mieux préservées, fassent également l'objet d'investigations (Guiblais-Starck et al., en préparation). Les traces pédo-sédimentaires découvertes en contexte préventif devraient ainsi permettre de mieux interpréter les résidus uniquement perceptibles à l'échelle microscopique.

Nous n'avons que peu développé la question des processus taphonomiques des résidus découverts à Transinne, ainsi que la validité méthodologique des estimations de température de chauffe. La question de l'importance de la diagenèse sur les agrégats chauffés mérite d'être détaillée plus amplement, car c'est une problématique centrale dans l'étude des structures de chauffe anciennes ainsi que sur la question de la préservation de l'ensemble des résidus pyrolytiques au sens large (Courty, 2012). Toutefois, il nous semble que ces questions ne sauront être résolues sans considérer la complexité des feux anthropiques, même hors des sites archéologiques *stricto sensu*. Au final, plutôt que de proposer des modèles d'interprétation théorique seulement fondés sur la base de données géoarchéologiques (Macphail et Goldberg, 1990), il nous semble primordial d'accorder une plus grande attention aux aspects techniques (structure, fonctionnement, fonction) des emplois du feu, dont la dénomination et la définition en constitue un des fondements incontournable (Sigaut, 1975, 1991).

### Remerciements

Kaï Fechner et Roger Langohr sont fortement remerciés pour l'opportunité d'étudier le bloc de Transinne ; à Alain Giosa pour son aide sur la figure de synthèse et son expertise générale ; à Nicolas Bermeo, Bastien Parrondo, Alexandra Legrand-Pineau et aux collègues du laboratoire pour leurs conseils et leur assistance technique ; à Hubert Cochet et Margot Jobbé-Duval pour leur autorisation à reproduire l'illustration de l'écobuage andin. Nos remerciements vont enfin à Anne Gebhardt pour ses remarques et conseils pertinents et à Judit Deák pour son suivi lors de la préparation de ce manuscrit.

## Références

- Bahuchet, S. et Betsch, J.-M., 2012. L'agriculture itinérante sur brûlis, une menace sur la forêt tropicale humide ? *Revue d'ethnoécologie*, 1.
- Baize, D. et Girard, M.-C., 2009. *Référentiel pédologique 2008*, Éditions Quae.
- Barrau, J., 1971. La culture itinérante, longtemps mal comprise et encore mal nommée ! *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 18 (1), 100-103.
- Barrau, J., 1972. Culture itinérante, culture sur brûlis, culture nomade, écobuage ou essartage ? *Études rurales*, 45, 99-103.
- Bell, M., 1983. Valley Sediments as Evidence of Prehistoric Land-use on the South Downs. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 49, 119-150.
- Berghen, C.V., 1970. Esquisse D'une Description Botanique De L'Ardenne. *Acta Botanica Neerlandica*, 19 (2), 216-226.
- Blache, J., 1923. L'essartage, ancienne pratique culturale dans les Alpes dauphinoises. *Revue de géographie alpine*, 11 (3), 553-575.
- Blache, J., 1931. Les massifs de la Grande-Chartreuse et du Vercors : étude géographique. Thèse, Grenoble, France, Faculté des Lettres de l'Université de Grenoble, II Tomes, 477+514 pp.
- Blouet, V. et Faye, C., 1986. Pagny-sur-Moselle (54) « En Navut », Fouille de Sauvetage Urgent, rapport de fouilles, Metz, A.F.A.N., S.R.A.
- Bobrovsky, M.V. et Loyko, S.V., 2016. Patterns of pedoturbation by tree uprooting in forest soils. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*, 1 (1), 1-22.
- Bock, L., Engels, P., Langohr, R., et Yans, J., 2010. Transinne 2010 Soil Profile. Document of the Excursion with the German Soil Sci. Soc. (Sept. 2009) and the Belgian Soil Sci Soc. (Sept. 2010), guide d'excursion, Société belge de pédologie.
- Bodí, M.B., Martin, D.A., Balfour, V.N., Santín, C., Doerr, S.H., Pereira, P., Cerdà, A., et Mataix-Solera, J., 2014. Wildland fire ash: Production, composition and eco-hydro-geomorphic effects. *Earth-Science Reviews*, 130, 103-127.
- Bogaard, A., 2002. Questioning the relevance of shifting cultivation to Neolithic farming in the loess belt of Europe: evidence from the Hambach Forest experiment. *Vegetation History and Archaeobotany*, 11 (1-2), 155-168.
- Bouteyre, G., 1958. L'écobuage en culture rizicole dans la région de Kim et Bouko (régions du Mayo-Kebbi et du Logone). *Nos Sols, Publication trimestrielle du Bureau des Sols de l'Afrique Équatoriale Française*, 7 & 8, 31-40.
- Boutry, L., 1920. La forêt d'Ardenne. *Annales de géographie*, 29 (160), 261-279.
- Brodard, A., 2013. Caractérisation thermique de structures de combustion par les effets de la chauffe sur les minéraux : thermoluminescence et propriétés magnétiques de foyers de la grotte des Fraux (Dordogne). Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne Bordeaux 3, 484 p.
- Bruzon, V., 1990. Les savanes du nord de la Côte d'Ivoire, mésologie et dynamique : l'herbe, le feu et le pâturage. Thèse, Université Paris 7.
- Burri, S., 2017. Essartage, culture temporaire et habitat en Basse-Provence entre Moyen Âge et première modernité (XIIIe-XVIIe siècles). *Histoire & Sociétés Rurales*, 46 (2), 31-68.
- Canti, M.G., 2003. Aspects of the chemical and microscopic characteristics of plant ashes found in archaeological soils. *CATENA*, 54 (3), 339-361.
- Canti, M.G., 2017. Charred Plant Remains, in: *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* (ed. Georges Stoops, Vera Marcelino, Florias Mees), 141-142.
- Canti, M.G., et Linford, N., 2000. The Effects of Fire on Archaeological Soils and Sediments: Temperature and Colour Relationships. *Proceedings of the Prehistoric Society*, 66, 385-395.
- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*, 143 (1), 1-10.
- Chabal, L., Fabre, L., Terral, J.-F., et Théry-Parisot, I., 1999. L'anthracologie, in: *La botanique* (Editions Errance, Paris, Collection Archéologiques), 43-104.
- Childe, V.G., 1929. *The Danube in Prehistory*. Oxford, Oxford University Press.
- Cornell, R.M. et Schwertmann, U., 2003. *The Iron Oxides: Structure, Properties, Reactions, Occurrences and Uses*. John Wiley & Sons, Second, Completely Revised and Extended Edition.
- Courtney Mustaphi, C.J. et Pisaric, M.F.J., 2014. A classification for macroscopic charcoal morphologies found in Holocene lacustrine sediments. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 38 (6), 734-754.
- Courty, M.-A., 2012. Transformation pédologique des produits de combustion: approche expérimentale. *Etude et Gestion des Sols*, 19 (1), 41-50.
- Cremaschi, M. et Nicosia, C., 2012. Sub-Boreal aggradation along the Apennine margin of the Central Po Plain: geomorphological and geoarchaeological aspects. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 18 (2), 155-174.
- Cubizolle, H., Argant, J., Fassion, F., Latour-Argant, C., Deng-Amiot, Y., et Dietre, B., 2014. L'histoire de la végétation depuis la fin du tardiglaciaire et l'évolution de l'emprise humaine à partir du milieu de l'holocène dans le Massif Central oriental (France). *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, 25 (3), 209-236.
- Davis, K.P., 1959. *Forest fire, control and use*. McGraw-Hill, New York.
- Deák, J., Gebhardt, A., Lewis, H., Usai, M.R., et Lee, H., 2017. Soils disturbed by vegetation clearance and tillage, in: *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* (Ed. Nicosia C., et Stoops G.), 233-264.
- Deaton, B.C. et Balsam, W.L., 1991. Visible Spectroscopy--A Rapid Method for Determining Hematite and Goethite Concentration in Geological Materials: Research Method Paper. *Journal of Sedimentary Research*, 61 (4), 628-632.
- Demaze, M.T. et Manusset, S., 2008. L'agriculture itinérante sur brûlis en Guyane française : la fin des durabilités écologique et socioculturelle ? *Les Cahiers d'Outre-Mer. Revue de géographie de Bordeaux*, 61 (241-242), 31-48.

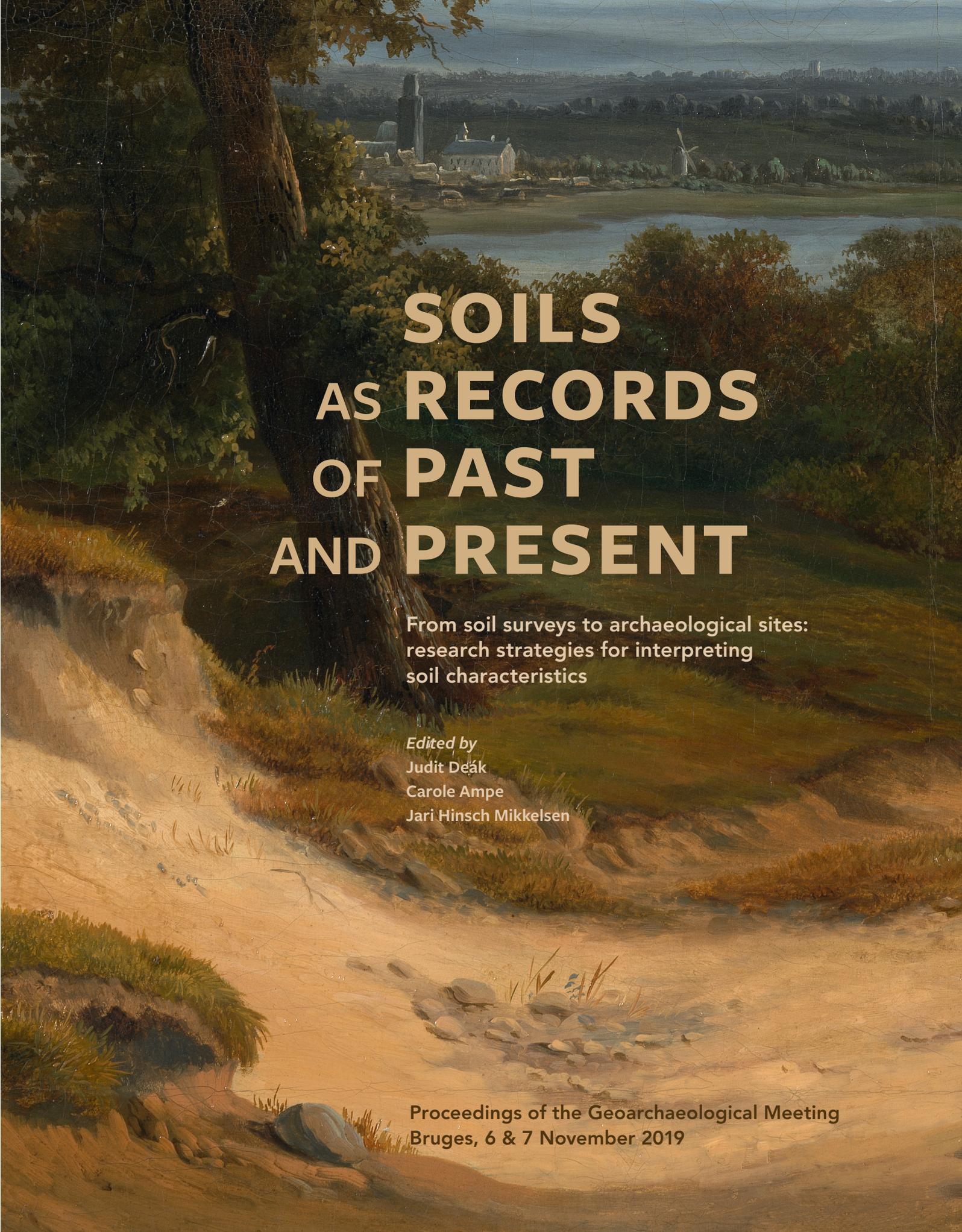
- Dounias, E., Tserikiantz, F., Carrière, S.M., McKey, D., Grenand, F., Kocher-Schmid, C., et Bahuchet, S., 2000. La diversité des agricultures itinérantes sur brûlis, in: *Les peuples des forêts tropicales aujourd'hui : 2. Une approche thématique* (ed. Bahuchet S.), Bruxelles, APFT, 65-105.
- Dumez, R., 2010. *Le feu, savoirs et pratiques en Cévennes*, Éditions Quae & NSS-Dialogues.
- Dumoulin, V. et Blockmans, S., 2013. Carte Ponderôme Wellin 59/5-6. Notice Explicative, in: *Carte géologique de Wallonie 1/25000* (SPW éditions), Namur, Service public de Wallonie, Direction générale de l'Agriculture, des Ressources naturelles et de l'Environnement.
- Dupin, A., Girardclos, O., Fruchart, C., Laplaige, C., Nuninger, L., Dufraisse, A., et 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 (Supplement C), 200-213.
- Dupré, A., 2004. L'essartage dans les arrondissements ardennais de Mézières et de Rocroi entre 1824 et 1835. Technique et réglementation. *Revue Historique Ardennaise*, 36, 63-86.
- Dzaba, D., 1987. Contribution à l'étude de la dynamique de la fertilité chimique du sol dans un système de culture traditionnel à base d'écobuage. *Les arbres fixateurs d'azote. L'amélioration biologique de la fertilité du sol*, 595-627.
- Eckmeier, E., Gerlach, R., Skjemstad, J.O., Ehrmann, O., et Schmidt, M.W.I., 2007. Minor changes in soil organic carbon and charcoal concentrations detected in a temperate deciduous forest a year after an experimental slash-and-burn. *Biogeosciences*, 4 (3), 377-383.
- Eckmeier, E., Rösch, M., Ehrmann, O., Schmidt, M.W.I., Schier, W., et Gerlach, R., 2007. Conversion of biomass to charcoal and the carbon mass balance from a slash-and-burn experiment in a temperate deciduous forest. *The Holocene*, 17 (4), 539-542.
- Ehrmann, O., Biester, H., Bogenrieder, A., et Rösch, M., 2014. Fifteen years of the Forchtenberg experiment—results and implications for the understanding of Neolithic land use. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23 (1), 5-18.
- Fechner, K., Bécu, B., Degryse, H., Doutrelepont, H., et Vrydaghs, L., 2002. Indices sédimentaires liés aux structures de combustion en Moyenne Belgique. *Civilisations*, 49 (1/2), 311-362.
- Fechner, K., Decocq, O., Deligne, F., et Slachmuylder, J.-L., 2008. Les sols noirs en relation avec l'homme sur le tracé champenois du TGV-Est. Compréhension pédologique et malacologique, essai d'interprétation archéologique, Document final de synthèse, Châlons-en-Champagne, Institut national de Recherche en Archéologie préventive (INRAP), en collaboration avec le Service régional de l'archéologie (DRAC Champagne-Ardenne).
- Fitzpatrick, R., Raven, M., Self, P., Shand, P., Grealish, G., et Mosley, L., 2014. Irreversible clay mineral transformations from bushfires in acid sulfate soils: An indicator of soil processes involved in climate variability and climate change. *Proceedings 23rd Australian Clay Minerals Society Conference: Perth*, 47-50.
- Froment, A., 1968. L'ancienne économie rurale de l'Ardenne et son incidence sur la végétation des Hautes Fagnes. *BSGLg*.
- Gebhardt, A., 1993. Micromorphological evidence of soil deterioration since the mid-Holocene at archaeological sites in Brittany, France. *The Holocene*, 3 (4), 333-341.
- Gebhardt, A., 2007. Impact of charcoal production activities on soil profiles: the micromorphological point of view. *ArcheoSciences. Revue d'archéométrie*, (31), 127-136.
- Goforth, B.R., Graham, R.C., Hubbert, K.R., Zanner, C.W., et Minnich, R.A., 2005. Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, southern California. *International Journal of Wildland Fire*, 14 (4), 343-354.
- Goldberg, P. et Macphail, R.I., 2006. *Practical and theoretical geoarchaeology*, Malden, MA ; Oxford, Blackwell Publishing.
- Grenand, F., 1996. L'abattis contre l'essart, again. *Journal d'agriculture traditionnelle et de botanique appliquée*, 38 (1), 19-53.
- Guiblais-Starck, A., Menbrivès, C., Coubray, S., Dandurand, G., Giosa, A., Martin, S., et Petit, C., en préparation. Première identification archéologique d'un écobuage médiéval : le site de Vaudes « Les Trappes » (Aube).
- Guilaine, J., 1991. *Pour une archéologie agraire. A la croisée des sciences de l'homme et de la nature*. Paris, Armand Colin.
- Guilaine, J., 2015. *La Seconde Naissance de l'Homme. Le Néolithique*. Odile Jacob.
- Guillot, B., 1973. *La terre Enkou : recherches sur les structures agraires du plateau Koukouya (Congo)*. Paris, Mouton.
- Halstead, P., 2018. Forest clearance and land use by early farmers in Europe: Insights from north Greek oral history. *Quaternary International*, 496, 42-50.
- Herbauts, J., Berthelon, S., et Gruber, W., 1990. Relation entre pratique de l'essartage et distribution des phytolithes dans deux sols forestiers de l'Ardenne belge. *Pédologie*, XL-3, 225-225.
- Herrmann, L., Ehrmann, O., Stein, C., Werbter, N., Schulz, E., Rösch, M., Hall, M., Bogenrieder, A., Page, H., et Schier, W., 2007. The Forchtenberg project. An interdisciplinary experimental approach towards Neolithic agriculture. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A*, 112, 127-132.
- Hodder, I., 1980. Ethnoarchéologie : une approche contextuelle. *Nouvelles de l'Archéologie*, 4 (1), 24-30.
- Huisman, D.J., Braadbaart, F., Wijk, I.M. van, et Os, B.J.H. van, 2012. Ashes to ashes, charcoal to dust: micromorphological evidence for ash-induced disintegration of charcoal in Early Neolithic (LBK) soil features in Elsloo (The Netherlands). *Journal of Archaeological Science*, 39 (4), 994-1004.
- Iversen, J., 1956. Forest Clearance in the Stone Age. *Scientific American*, 194 (3), 36-41.
- Jacomet, S., Ebersbach, R., Akeret, Ö., Antolín, F., Baum, T., Bogaard, A., Brombacher, C., Bleicher, N.K., Heitz-Weniger, A., Hüster-Plogmann, H., Gross, E., Kühn, M., Rentzel, P., Steiner, B.L., Wick, L., et Schibler, J.M., 2016. On-site data cast doubts on the hypothesis of shifting cultivation in the late Neolithic (c. 4300-2400 cal. BC): Landscape management as an alternative paradigm. *The Holocene*, 26 (11), 1858-1874.

- Jensen, K., Lynch, E.A., Calcote, R., et Hotchkiss, S.C., 2007. Interpretation of charcoal morphotypes in sediments from Ferry Lake, Wisconsin, USA: do different plant fuel sources produce distinctive charcoal morphotypes? *The Holocene*, 17 (7), 907-915.
- Jobbé-Duval, M., Cochet, H., et Bourliaud, J.B., 2007. L'écobuage andin. *Techniques & Culture. Revue semestrielle d'anthropologie des techniques*, (48-49), 149-188.
- Jordanova, D., Jordanova, N., Barrón, V., et Petrov, P., 2018. The signs of past wildfires encoded in the magnetic properties of forest soils. *CATENA*, 171, 265-279.
- Keeley, J.E., 2009. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage. *International Journal of Wildland Fire*, 18 (1), 116-126.
- Kelm, R., 2014. A Slash-and-Burn-Experiment in the Stone Age Park Albersdorf, Germany. Possibilities of the Demonstration of neolithic agricultural methods - Experiences and Results. OpenArch Conference: The Value and Scale of the Experimental Archaeology Approach, Kierikki Stone Age Centre, Finlande, 2014.
- Ketterings, Q.M., Bigham, J.M., et Laperche, V., 2000. Changes in Soil Mineralogy and Texture Caused by Slash-and-Burn Fires in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*, 64 (3), 1108-1117.
- Kushla, J.D. et Ripple, W.J., 1997. The role of terrain in a fire mosaic of a temperate coniferous forest. *Forest Ecology and Management*, 95 (2), 97-107.
- Lambinon, J. et Verloove, F., 2012. *Nouvelle Flore de la Belgique, du Grand-Duché de Luxembourg, du Nord de la France et des Régions voisines*. B-1860 Meise, Edition du Jardin botanique national de Belgique, Sixième édition.
- Langohr, R., 1993. Types of tree windthrow, their impact on the environment and their importance for the understanding of archaeological excavation data. *Helinium*, XXXIII (1), 36-49.
- Le Jeune, Y., Pastre, J.-F., Arcay, D., Aubry, L., Camerlynck, C., Confalonieri, J., Lançon, Y., Vergnaud, D., et Vissac, C., 2005. Variabilité de l'enregistrement alluvial holocène ; l'exemple du méandre de la Haute-Île (vallée de la Marne, bassin parisien), premiers résultats. *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, (vol. 16/4), 299-313.
- Lugassi, R., Ben-Dor, E., et Eshel, G., 2010. A spectral-based method for reconstructing spatial distributions of soil surface temperature during simulated fire events. *Remote Sensing of Environment*, 114 (2), 322-331.
- Macphail, R.I., Courty, M.A., et Gebhardt, A., 1990. Soil micromorphological evidence of early agriculture in north-west Europe. *World Archaeology*, 22 (1), 53-69.
- Macphail, R.I. et Goldberg, P., 1990. The Micromorphology of Tree Subsoil Hollows: Their Significance to Soil Science and Archaeology, in: *Developments in Soil Science* (ed. Douglas L.A.), Soil Micro-Morphology: A Basic and Applied Science, 425-429.
- Mallol, C. et Dietl, C., 2017. Burnt Soils and Sediments, in: *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* (ed. Nicosia C., et Stoops G.), 173-180.
- Mallol, C., Mentzer, S.M., et Miller, C.E., 2017. Combustion Features, in: *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology* (ed. Nicosia C., et Stoops G.), 299-330.
- Marembert, F. et Prodéo, F., 2007. Pineuilh (33) «La Mothe». Volume 3 - Zones 2 et 3, RFO de fouille archéologique, 156, av. Jean Jaurès, 33600 Pessac, INRAP Grand Sud-Ouest.
- Marmet, E., Aubry, L., et Best, C., 2002. Mise en évidence de brûlis sur le tracé autoroutier de PA89 (section Ussel-Tulle, Corrèze) en cartographie magnétique et par mesures magnétiques en laboratoire. *Revue d'Archéométrie*, 26 (1), 5-10.
- Mataix-Solera, J., Cerdà, A., Arcenegui, V., Jordán, A., et Zavala, L.M., 2011. Fire effects on soil aggregation: A review. *Earth-Science Reviews*, 109 (1-2), 44-60.
- Mazoyer, M. et Roudart, L., 1997. *Histoire des agricultures du monde: du néolithique à la crise contemporaine*. Paris, France, Éd. du Seuil.
- Mentzer, S.M., 2014. Microarchaeological Approaches to the Identification and Interpretation of Combustion Features in Prehistoric Archaeological Sites. *Journal of Archaeological Method and Theory*, 21 (3), 616-668.
- Métaillié, J.-P., 1996. Brûler le paysage... pour l'aménager! *Aménagement et Nature*, 1996, 97-105.
- Métaillié, J.-P., 1999. Le feu : un « entre-deux » scientifique et social. *Montagnes Méditerranéennes, Écobuage et gestion de l'espace* (10), 81-86.
- Mirti, P. et Davit, P., 2004. New developments in the study of ancient pottery by colour measurement. *Journal of Archaeological Science*, 31 (6), 741-751.
- Montelius, S., 1953. The Burning of Forest Land for the Cultivation of Crops. *Geografiska Annaler*, 35 (1), 41-54.
- Moreau, R., Nzila, J. de D., et Nyete, B., 1998. La pratique de l'écobuage maala et ses conséquences sur l'état du sol au Congo. *Actes du 16ème Congrès Mondial de la Science du Sol*, 11.
- Neary, D.G., Klopatek, C.C., DeBano, L.F., et Ffolliott, P.F., 1999. Fire effects on belowground sustainability: a review and synthesis. *Forest Ecology and Management*, 122 (1-2), 51-71.
- Nicolai, H., 1961. *Luozi : Géographie régionale d'un pays du Bas-Congo*, Gembloux, Bruxelles, Belgique, J. Duculot, Académie royale des Sciences d'Outre-Mer, Classe des sciences naturelles et médicales, 95 et annexes p.
- Nicosia, C. et Stoops, G., 2017. *Archaeological Soil and Sediment Micromorphology*. John Wiley & Sons Ltd.
- Noirfalise, A. et Thill, A., 1959. Les taillis sarrés de l'Ardenne. *Comptes-rendus de la Réunion technique de l'U.I.C.N.*, 2, 364-370.
- Nzila, J. de D., 1992. *La pratique de l'écobuage dans la vallée du Niari (Congo) : ses conséquences sur l'évolution d'un sol ferrallitique acide*. Montpellier, ORSTOM.
- Paradis-Grenouillet, S., 2012. Etudier les « forêts métallurgiques » : analyses dendro-anthracologiques et approches géohistoriques. Exemple des forêts du mont Lozère et du Périgord-Limousin. Thèse de doctorat : géographie, Limoges, Université de Limoges, 452 pp.

- Parsons, A., Robichaud, P.R., Lewis, S.A., Napper, C., et Clark, J.T., 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity. General Technical Report RMRS-GTR-243, Fort Collins, CO 80526, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station.
- Pastor, E., Pérez, Y., Agueda, A., Miralles, M., et Planas, E., 2010. Pile burning of cutting debris in stands of hazel (*Corylus avellana*): An experimental study of smouldering combustion towards the validation of a burning protocol. *Fire Safety Journal*, 45 (1), 69-81.
- Pernot, M. et Frerebeau, N., 2018. Dans la chaleur des fours : que restituer des pratiques des céramistes des sociétés anciennes ? *ArcheoSciences*, n° 42-2 (2), 95-105.
- Pétrequin, P., Pétrequin, A.-M., et Schaal, C., 2016. Introduction : rythme d'occupation des villages et agriculture céréalière, in: *Clairvaux et le « Néolithique Moyen Bourguignon »* (éd. Pétrequin P. et Pétrequin A.-M.), 1129-1150.
- Ponomarenko, E., Tomson, P., Ershova, E., et Bakumenko, V., 2019. A multi-proxy analysis of sandy soils in historical slash-and-burn sites: A case study from southern Estonia. *Quaternary International*, 516, 190-206.
- Portères, R., 1972. De l'écobuage comme un système mixte de culture et de production. *Journal d'agriculture tropicale et de botanique appliquée*, 19 (6), 151-207.
- Powell, A.J., Wheeler, J., et Batt, C.M., 2012. Identifying archaeological wood stack charcoal production sites using geophysical prospection: magnetic characteristics from a modern wood stack charcoal burn site. *Journal of Archaeological Science*, 39 (5), 1197-1204.
- Power, M.J., Marlon, J., Ortiz, N., Bartlein, P.J., Harrison, S.P., Mayle, F.E., Ballouche, A., Bradshaw, R.H.W., Carcaillet, C., Cordova, C., Mooney, S., Moreno, P.I., Prentice, I.C., Thonicke, K., Tinner, W., Whitlock, C., Zhang, Y., Zhao, Y., Ali, A.A., Anderson, R.S., Beer, R., Behling, H., Briles, C., Brown, K.J., Brunelle, A., Bush, M., Camill, P., Chu, G.Q., Clark, J., Colombaroli, D., Connor, S., Daniau, A.-L., Daniels, M., Dodson, J., Doughty, E., Edwards, M.E., Finsinger, W., Foster, D., Frechette, J., Gaillard, M.-J., Gavin, D.G., Gobet, E., Haberle, S., Hallett, D.J., Higuera, P., Hope, G., Horn, S., Inoue, J., Kaltenrieder, P., Kennedy, L., Kong, Z.C., Larsen, C., Long, C.J., Lynch, J., Lynch, E.A., McGlone, M., Meeks, S., Mensing, S., Meyer, G., Minckley, T., Mohr, J., Nelson, D.M., New, J., Newnham, R., Noti, R., Oswald, W., Pierce, J., Richard, P.J.H., Rowe, C., Goñi, M.F.S., Shuman, B.N., Takahara, H., Toney, J., Turney, C., Urrego-Sanchez, D.H., Umbanhowar, C., Vandergoes, M., Vannière, B., Vescovi, E., Walsh, M., Wang, X., Williams, N., Wilmshurst, J., et Zhang, J.H., 2008. Changes in fire regimes since the Last Glacial Maximum: an assessment based on a global synthesis and analysis of charcoal data. *Climate Dynamics*, 30 (7-8), 887-907.
- Rameau, J.-C., 1999. Accrus, successions végétales et modèles de dynamique linéaire forestière. *Ingénieries - Eau, Agriculture, Territoires*, Boisements naturels des espaces agricoles (n° spécial), 33-48.
- Rameau, J.-C., Mansion, D., Dumé, G., Lecoine, A., Timbal, J., Dupont, P., et Keller, R., 1993. *Flore forestière française. Guide écologique illustré. Tome 2. Montagnes*. Paris, Institut pour le Développement forestier.
- Rasmussen, K.L., De La Fuente, G.A., Bond, A.D., Mathiesen, K.K., et Vera, S.D., 2012. Pottery firing temperatures: a new method for determining the firing temperature of ceramics and burnt clay. *Journal of Archaeological Science*, 39 (6), 1705-1716.
- Reynolds, P.J., 1977. Slash and Burn Experiment. *Archaeological Journal*, 134 (1), 307-318.
- Ribet, N., 2009. Les parcours du feu. Techniques de brûlage à feu courant et socialisation de la nature dans les Monts d'Auvergne et les Pyrénées centrales. Thèse de doctorat : anthropologie sociale et ethnologie, Paris, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 649 pp.
- Ribet, N., 2011. Enjeux de connaissance et de reconnaissance des compétences techniques du brûlage à feu courant. *Forêt Méditerranéenne*, Tome XXXII (3), 277-290.
- Robin, V., Talon, B., et Nelle, O., 2015. Charcoal: Resource and ubiquitous proxy. *Quaternary International*, 366, 1-2.
- Roperch, P., Gattacceca, J., Valenzuela, M., Devouard, B., Lorand, J.-P., Arriagada, C., Rochette, P., Latorre, C., et Beck, P., 2017. Surface vitrification caused by natural fires in Late Pleistocene wetlands of the Atacama Desert. *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 15-26.
- Rösch, M., Ehrmann, O., Goldammer, J.G., Herrmann, L., Page, H., Schulz, E., Hall, M., Bogenrieder, A., et Schier, W., 2004. Slash-and-burn experiments to reconstruct Late Neolithic shifting cultivation. *International Forest Fire News*, (30), 70-74.
- Rösch, M., Biester, H., Bogenrieder, A., Eckmeier, E., Ehrmann, O., Gerlach, R., Hall, M., Hartkopf-Fröder, C., Herrmann, L., Kury, B., Lechterbeck, J., Schier, W., et Schulz, E., 2017. Late Neolithic Agriculture in Temperate Europe—A Long-Term Experimental Approach. *Land*, 6 (1), 11.
- Schier, W., Ehrmann, O., Rösch, M., Bogenrieder, A., Hall, M., Herrmann, L., et Schulz, E., 2013. *The economics of Neolithic swidden cultivation: results of an experimental long-term project in Forchtenberg (Baden-Württemberg, Germany)*. Dr. Rudolf Habelt GmbH, Bonn.
- Schulz, E., Vannina, U., et Hall, M., 2014. The double mosaic-regeneration of vegetation and soil after clearing, burning, and cultivation: lessons from the Forchtenberg experiment. *Vegetation History and Archaeobotany*, 23 (1), 19-36.
- Schweingruber, F.H., 1990. *Anatomy of European woods. An atlas for identification of European trees, shrubs and dwarf shrubs*. Germany, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, Verlag Kessel.
- Scott, A.C., Bowman, D.M.J.S., et Bond, W.J., 2014. *Fire on earth: an introduction*. Chichester, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, Wiley Blackwell.
- Scott, A.C., Cripps, J.A., Collinson, M.E., et Nichols, G.J., 2000. The taphonomy of charcoal following a recent heathland fire and some implications for the interpretation of fossil charcoal deposits. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 164 (1-4), 1-31.
- Scott, A.C., Pinter, N., Collinson, M.E., Hardiman, M., Anderson, R.S., Brain, A.P.R., Smith, S.Y., Marone, F., et Stambanoni, M., 2010. Fungus, not comet or catastrophe, accounts for carbonaceous spherules in the Younger Dryas « impact layer ». *Geophysical Research Letters*, 37 (14).

- Sigaut, F., 1975. *L'agriculture et le feu. Rôle et place du feu dans les techniques de préparation du champ de l'ancienne agriculture européenne*. Paris, La Haye, École des Hautes Études en Sciences Sociales et Mouton & Co.
- Sigaut, F., 1991. Un couteau ne sert pas à couper, mais en coupant : structure, fonctionnement et fonction dans l'analyse des objets. *25 ans d'études technologiques en Préhistoire*, 21-34.
- Sigaut, F., 2012. *Comment Homo devint faber. Comment l'outil fit l'homme*. Paris, CNRS éditions, 236 p.
- Simoneit, B.R.T., 2002. Biomass burning — a review of organic tracers for smoke from incomplete combustion. *Applied Geochemistry*, 17 (3), 129-162.
- Smith, J.E., Cowan, A.D., et Fitzgerald, S.A., 2016. Soil heating during the complete combustion of mega-logs and broadcast burning in central Oregon USA pumice soils. *International Journal of Wildland Fire*, 25 (11), 1202-1207.
- Stoops, G., Marcelino, V., et Mees, F., 2018. *Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths*. Elsevier, 1000 p.
- Terefe Wondafrash, T., Mariscal Sancho, I., Gomez Miguel, V., et Espejo Serrano, R., 2005. Relationship between soil color and temperature in the surface horizon of Mediterranean soils: A laboratory study. *Soil Science*, 170 (7), 495-503.
- Thomaz, E.L., 2017. Fire changes the larger aggregate size classes in slash-and-burn agricultural systems. *Soil and Tillage Research*, 165, 210-217.
- Ulery, A.L. et Graham, R.C., 1993. Forest Fire Effects on Soil Color and Texture. *Soil Science Society of America Journal*, 57 (1), 135-140.
- Villagran, X.S., Strauss, A., Miller, C., Ligouis, B., et Oliveira, R., 2017. Buried in ashes: Site formation processes at Lapa do Santo rockshelter, east-central Brazil. *Journal of Archaeological Science*, 77, 10-34.
- Viscarra Rossel, R.A., Minasny, B., Roudier, P., et McBratney, A.B., 2006. Colour space models for soil science. *Geoderma*, 133 (3-4), 320-337.
- Zhou, W., Chen, L., Zhou, M., Balsam, W.L., et Ji, J., 2010. Thermal identification of goethite in soils and sediments by diffuse reflectance spectroscopy. *Geoderma*, 155 (3), 419-425.



The background is a classical-style landscape painting. In the foreground, a large, dark tree trunk with intricate root systems stands on the left. Below it, a sandy, eroded bank slopes down towards a path. The middle ground features a lush green field with a prominent windmill. In the distance, a coastal town with various buildings and a church spire is visible across a body of water. The sky is a soft, hazy blue.

# SOILS AS RECORDS OF PAST AND PRESENT

From soil surveys to archaeological sites:  
research strategies for interpreting  
soil characteristics

*Edited by*  
Judit Deák  
Carole Ampe  
Jari Hinsch Mikkelsen

Proceedings of the Geoarchaeological Meeting  
Bruges, 6 & 7 November 2019

This book is published on the occasion of the Geoarchaeological Meeting:

## Soils as records of Past and Present.

### From soil surveys to archaeological sites: research strategies for interpreting soil characteristics

on 6 & 7 November 2019 in Bruges, Belgium.

#### Editors

Judit Deák, Carole Ampe and Jari Hinsch Mikkelsen

#### Technical editor

Mariebel Deceuninck

#### English language reviewer

Caroline Landsheere

#### Graphic design

Frederick Moyaert

#### Printing & binding

Die Keure, Bruges

#### Publisher

Raakvlak  
Archaeology, Monuments and Landscapes of Bruges and Hinterland,  
Belgium  
[www.raakvlak.be](http://www.raakvlak.be)

#### Copyright and photographic credits

The printed version of this book is protected by the copyright

© Raakvlak.

ISBN 978 90 76297 811

This book is a collection of freely available (open access) documents. The book and the papers composing it have individual digital object identifiers (doi, indicated on each paper) and are hosted by the non-commercial depository archive (Zenodo).

The rightsholders (authors and/or institutions) retain the copyright of their contribution. The online contributions are distributed under the Creative Commons Attribution Share Alike, 4.0 License (CC-BY-SA). The authors of the papers warrant that they have secured the right to reproduce any material that has already been published or copyrighted elsewhere and that they identified such objects with appropriate citations and copyright statements, if applicable, in captions or even within the objects themselves. Neither the editors, nor the publisher can in any way be held liable for any copyright complains.

#### Citation recommendation

Judit Deák, Carole Ampe, and Jari Hinsch Mikkelsen (Eds.).  
Soils as records of past and Present. From soil surveys to archaeological sites: research strategies for interpreting soil characteristics. Proceedings of the Geoarchaeological Meeting Bruges (Belgium), 6 & 7 November, 2019. Raakvlak, Bruges.  
ISBN 978 90 76297 811  
Doi: <http://10.5281/zenodo.3420213>



RÉPUBLIQUE ET CANTON DE NEUCHÂTEL

DÉPARTEMENT DE LA JUSTICE,  
DE LA SÉCURITÉ ET DE LA CULTURE  
OFFICE DU PATRIMOINE ET DE L'ARCHÉOLOGIE  
SECTION ARCHÉOLOGIE

VLAAMSE  
LAND  
MAATSCHAPPIJ



Vlaanderen  
is open ruimte

B R U  
G G E

MUSEA  
BRUGGE



#### Photographic credits

##### Cover, p. 6

*Landscape with cows near Oudenaarde (detail),*

*Jean Baptiste Daveloose*

© Musea Brugge

© Lukas Art in Flanders vzw

© Dominique Provost Art Photography

##### Soil collages p. 16, 87, 173, 261, 297

© Roger Langohr, Jari Hinsch Mikkelsen and Carole Ampe

# TABLE OF CONTENT

7	<b>Foreword</b> D. De fauw, N. Blonrock and P. Ennaert
9	<b>Introduction</b> <b>From soils surveys to archaeological sites and beyond: research strategies and original approaches for interpreting soils, anthropic activity, and environmental changes</b> J. Deák, C. Ampe and J. Hinsch Mikkelsen
15	<b>Scientific reviewers</b>
<hr/>	
	<b>1. Present and past soilscapes and land use</b>
19	<b>Settlement of the first farmers in the Belgian loess belt, the edaphic factor</b> R. Langohr
31	<b>Land use and settlement dynamics in the bays of Bevaix and Cortaillod (Neuchâtel Lake, Switzerland) during Late Bronze Age</b> J. Deák, F. Langenegger and S. Wüthrich
55	<b>The Abc soil types: Podzoluvisols, Albeluvisols or Retisols? A review</b> S. Dondeyne and J.A. Deckers
65	<b>The byre's tale. Farming nutrient-poor cover sands at the edge of the Roman Empire (NW-Belgium)</b> J. Hinsch Mikkelsen, R. Langohr, V. Vanwesenbeeck, I. Bourgeois and W. De Clercq
<hr/>	
	<b>2. Natural and anthropogenic soil forming factors and processes</b>
89	<b>Drift sand-podzol hydrosequences in the Mol-Dessel area, NE Belgium</b> K. Beerten
99	<b>Bioturbation and the formation of latent stratigraphies on prehistoric sites</b> <b>Two case studies from the Belgian-Dutch coversand area</b> Ph. Crombé, L. Messiaen, D. Teetaert, J. Sergant, E. Meylemans, Y. Perdaen and J. Verhegge
113	<b>Les faux poteaux plantés</b> J. Vanmoerkerke, W. Tegel and C. Laurelut
121	<b>Feux agricoles, des techniques méconnues des archéologues</b> <b>L'apport de l'étude archéopédologique des résidus de combustion de Transinne (Belgique)</b> C. Menbrivès, C. Petit, M. Elliott, W. Eddargach and K. Fechner
141	<b>Micromorphologie des constructions en terre et convergence de faciès</b> <b>Le cas du site des Genêts à Ablis (Yvelines, France)</b> M. Rué and A. Hauzeur
159	<b>Facing complexity: an interdisciplinary study of an early medieval Dark Earth witnessing pasture and crop cultivation from the centre of Aalst (Belgium)</b> Y. Devos, K. De Grootte, J. Moens and L. Vrydaghs

---

### 3. Archaeology and soil science, unravelling the complexity

- 175 **Méthodologie d'une recherche paléoenvironnementale en archéologie préventive**  
**L'exemple du site de Kerkhove Stuw (Belgique)**  
 F. Cruz, J. Sergeant, A. Storme, L. Allemeersch, K. Aluwé, J. Jacobs, H. Vandendriessche, G. Noens, J. Hinsch Mikkelsen, J. Rozek, P. Laloo and Ph. Crombé
- 189 **Study of past and present records in soils from Lorraine (France)**  
**A geoarchaeological approach in the context of rescue archaeology**  
 A. Gebhardt
- 209 **Reconstruction des modes de vie au Néolithique et au Bronze Ancien**  
**Synopsis des apports récents des études pédologiques entre Rhin et Seine**  
 K. Fechner, D. Bosquet, F. Broes, avec la collaboration de L. Burnez-Lanotte, V. Clavel, L. Deschodt, H. Doutrelepon (†), G. Hulin, J. Hus and R. Langohr
- 231 **The evolution and medieval re-use of a prehistoric barrow at Wielsbeke (West Flanders, Belgium)**  
 F. Beke, J. Hinsch Mikkelsen and A.C. van den Dorpel
- 243 **Curbing the tide. The discovery of a Roman terp along the Heistlaan in Ramskapelle (Knokke-Heist)**  
 D. Verwerft, J. Hinsch Mikkelsen and W. De Clercq

---

### 4. Past climates and environments

- 263 **Soils or sediments? The role of R. Langohr's process-oriented approach in understanding carbonate-related palaeosols of the stratigraphic record**  
 A. Mindszenty
- 271 **Palaeosols as indicators of local palaeoenvironmental changes**  
**Mosaics from the Hungarian loess studies**  
 E. Horváth, Á. Novothny, G. Barta, D. Csonka, T. Végh and B. Bradák
- 279 **A distinct pedogenetic path under a Mediterranean climate**  
**The case of soils on Areny sandstone formation (Trempe basin, NE Iberian Peninsula)**  
 R.M. Poch, J.C. Balasch, M. Antúnez, J. Vadell, A. Forss and J. Boixadera

---

### 5. Present and future use of soil data

- 299 **The Database of the Subsoil in Flanders (DOV) related to soil and archaeological research**  
 K. Oorts, V. Vanwesenbeeck, M. Van Damme and S. Buyle
- 307 **Soil and archaeological groundworks for landscape development projects of the Flemish Land Agency**  
**The case study of Assebroek**  
 C. Ampe and K. Gheysen
- 313 **Archaeology and Soil Science in Flanders**  
**Personal reflections of an archaeologist in 2019**  
 M. Pieters