HAL
open science

# Il était une fois des sociétés qui stockaient du carbone en ville : processus de formation et implications sociétales des terres noires urbaines de l'Europe médiévale (Ve–XIe s.)

Quentin Borderie, Barbora Wouters, Rowena Banerjea, Cristiano Nicosia, Grégory Schütz, Franck Gama, Stéphane Augry, Pierre Wech

**To cite this version:**

Quentin Borderie, Barbora Wouters, Rowena Banerjea, Cristiano Nicosia, Grégory Schütz, et al.. Il était une fois des sociétés qui stockaient du carbone en ville : processus de formation et implications sociétales des terres noires urbaines de l'Europe médiévale (Ve–XIe s.). Bulletin de la Société Géologique de France, 2021, Special Issue Gearcheology, 192 (23), 18 p. 10.1051/bsgf/2021016 . hal-03231750

**HAL Id: hal-03231750**

**https://inrap.hal.science/hal-03231750**

Submitted on 26 May 2021

**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.

BSGF - Earth Sciences Bulletin 2021, 192, 23
© Q. Borderie *et al.*, Published by EDP Sciences 2021
https://doi.org/10.1051/bsgf/2021016

Disponible en ligne :
www.bsgf.fr

OPEN ACCESS

# Il était une fois des sociétés qui stockaient du carbone en ville : processus de formation et implications sociétales des terres noires urbaines de l'Europe médiévale (V$^{e}$–XI$^{e}$ s.).

Quentin Borderie[1,*], Barbora Wouters[2], Rowena Banerjea[3], Cristiano Nicosia[4], Grégory Schutz[5], Franck Gama[6,†], Stéphane Augry[7] et Pierre Wech[8]

[1] CNRS-UMR 7041 ArScAn, 21, allée de l'Université, 92023 Nanterre, France
[2] Vrije Universiteit Brussel, Research Foundation Flanders – FWO, Bruxelles, Belgique
[3] University of Reading, Reading, Royaume-Uni
[4] Dipartimento dei Beni Culturali, Università di Padova, Padova, Italie
[5] Service archéologique du Calvados, CNRS-UMR 6273 CRAHAM – Centre Michel de Boüard, Caen, France
[6] Institut national de recherches archéologiques préventives, Metz, France
[7] Institut national de recherches archéologiques préventives, UMR 6566 CReAAH, Nantes, France
[8] Mission archéologique du Département de l'Eure, UMR7041 ArScAn, Vieil-Evreux, France

Reçu le 24 novembre 2019 / Accepté le 26 mars 2021 / Publishing online: 16 April 2021

**Résumé –** Le sous-sol des villes est structuré par plusieurs millénaires d'interactions société-environnement, qui ont créé les strates et sols urbains dont la puissance sédimentaire peut aujourd'hui dépasser une dizaine de mètres. Depuis une trentaine d'années, le développement de la géoarchéologie des environnements artificialisés, et l'application des géosciences à ces formations anthropogènes, a permis de caractériser les processus pédo-sédimentaires et les systèmes d'activités qui en sont à l'origine. Ainsi, il est possible de constater que les strates des V$^{e}$–XI$^{e}$ siècles sont majoritairement caractérisées par des couches de terre sombre, d'apparence homogène, épaisses de plusieurs dizaines de centimètres, voire de plusieurs mètres, qui se rencontrent dans tous les espaces urbains anciens d'Europe, depuis Moscou jusqu'à Séville. Cet article présente une synthèse des résultats obtenus par l'étude systématique de ces terres noires, à l'échelle de l'Europe. Les résultats ont été acquis en associant une approche géo-archéologique à des fouilles archéologiques détaillées, et l'application des méthodes de l'archéo-pédologie, de la sédimentologie, de la micromorphologie, de la géochimie (métaux lourds, matières organiques) sur les stratifications archéologiques. Sur plus d'une centaine de sites étudiés en Grande-Bretagne, en Belgique, en France, en Italie, il a été possible de constater que les processus conduisant à la formation de terres noires sont très nombreux, tous liés à une occupation humaine des lieux. La bioturbation joue un rôle important dans la structuration de ces dépôts, conduisant à l'effacement partiel des anciennes interfaces sédimentaires. Les terres noires sont très riches en matières organiques, en déchets issus d'activités humaines domestiques, artisanales, en excréments, ainsi qu'en matériaux architecturaux dégradés. Les terres noires présentent des teneurs en carbone organique très élevées par rapport aux autres formations urbaines anciennes, comprises entre 9 et 35,9 mg/kg. Elles sont polluées au phosphore (jusqu'à 20,34 g/kg) et aux métaux lourds. Les concentrations en plomb atteignent 1830 mg/kg. Ces données permettent de mieux comprendre le comportement urbain des sociétés du début du Moyen Âge, dans leur gestion des déchets, leur rapport à la matérialité des surfaces sur lesquelles elles circulent et comment s'organisent les activités dans les villes.

**Mots clés :** anthroposol / pollution / Moyen Âge / plomb / artificialisation / métaux lourds

**Abstract – When societies stored carbon in towns: formation processes and societal implication of urban dark earths in early medieval Europe.** The underground of European towns is produced by millennia of interactions between societies and environment. These interactions have created urban strata and soils that can be 10 metres thick. After 30 years, the development of geoarchaeology in an artificialised environment and

*Auteur correspondant : quentinborderie@yahoo.fr
† Auteur décédé.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

the application of geosciences allow to characterise the pedo-sedimentary processes and human activity systems which lead to the production of those anthropogenic sediments. Thus, it is possible to notice that the strata corresponding to the 4th to 12th century are represented by dark earth layers of several tens of centimetres or meters thick, which seem to be homogenous. This paper proposes a synthesis of the results obtained by the systematic study of Dark Earth at a European scale. These results have been acquired by combining archaeological excavations and geoarchaeological approaches, the application of archaeo-pedology, sedimentology, micromorphology, and geochemistry to the archaeological stratifications. At more than one hundred sites in Great Britain, Belgium, France, and Italy it is possible to notice that the processes leading to Dark Earth formation vary greatly, but are always linked with human occupations. Bioturbation plays a major role in the structuration of those sediments, leading to the disappearance of stratigraphic limits. Dark Earths are very rich in organic matter, in refuse from human domestic or artisanal activities, in excrements, and in degraded architectural materials. The organic carbon content of Dark Earths is very high compared to other ancient urban stratifications, between 9 and 35.9 mg/kg. They are polluted by phosphorus – up to 20.34 g/kg – and by heavy metals. The concentrations of lead can reach 1830 mg/kg. These data allow to better understand the urban behaviours of early medieval societies in their management of waste, their relation with the materiality of the surfaces on which they live, and how the activities were organised within the towns.

**Keywords:** anthroposoil / pollution / Middle Ages / lead / artificial / heavy metal

## 1 Introduction

Les environnements urbains de l'Anthropocène sont caractérisés par une forte érosion des sols (creusement de caves, parkings, évacuation des déchets), leur artificialisation (bétonisation, imperméabilisation, Béchet *et al.*, 2017), une forte production de chaleur (CIESIN, 2016) et des émissions de carbone (Clerbaux *et al.*, 2008). Ces émissions représentent la plus grande contribution humaine au changement climatique (Duren et Miller, 2012). Pourtant, l'exploration archéologique des villes d'Europe montre qu'il n'en a pas toujours été ainsi. En effet, le sous-sol a enregistré l'histoire pédo-sédimentaire des villes sur des épaisseurs pouvant atteindre une dizaine de mètres (Carver, 1993). L'étude archéologique permet alors de comprendre l'évolution du rapport entre les sociétés urbaines et leur environnement, par la nature même des stratifications, qui diffèrent d'une période à une autre (Borderie *et al.*, 2014a). Ainsi, il a été constaté que, pour les V$^{e}$–XI$^{e}$ siècles, les archives sédimentaires des sociétés urbaines sont essentiellement constituées d'épaisses couches de terres noires, qui peuvent atteindre plusieurs mètres de puissance (Macphail *et al.*, 2003 ; Yule, 1990). Ces terres noires sont qualifiées par les archéologues de « Dark Earth » (Alexandrovskaya et Alexandrovskiy, 2000 ; Biddle, 1969 ; Macphail et Courty, 1985 ; Yule, 1990), « Terre Nere » (Brogiolo *et al.*, 1988 ; Cremaschi, 1992 ; Nicosia, 2018), « schwarze Erde » (Zagermann, 2019), « Svart jord » (Magnus, 1999), « terres noires », « terres organiques », « terres sombres », généralement « homogènes » (Arlaud *et al.*, 1994 ; Cammas *et al.*, 1995 ; Galinié, 2004 ; Gébus, 1995 ; Le Maho, 1994 ; Mahéo, 1984) et se rencontrent dans les agglomération d'origine antiques, telles Paris, Londres, Cologne, Milan ou médiévales telles Saint-Denis, Bruxelles, depuis Moscou (Alexandrovskaya et Alexandrovskiy, 2000) jusqu'à Séville. Elles tranchent radicalement avec les stratifications plus anciennes, du passé antique romain, qui sont d'une coloration beaucoup plus claire, riches en calcaire, en mortiers, en matériau grossiers, et dans lesquelles des murs, des sols, et des bâtiments sont plus aisément identifiables (Samson, 1994). Les cas des fouilles de l'ancien couvent Sainte-Chrétienne à Metz (Fig. 1), de l'Hôpital Saint-Louis à Evreux (Wech, 2011) et du Collège de France à Paris (Guyard, 2003) illustrent bien cet aspect. Des murs maçonnés liés au mortier de chaux datés de la période gallo-romaine sont clairement observables directement sous les terres noires, ou bien sous une couche à la coloration blanche à orangée. Celle-ci est souvent qualifiée de « couche de destruction », et est constituée d'entassements de matériaux de construction dans une matrice sablo-argileuse issue de la dégradation des mortiers et terres architecturales des édifices antiques. Les terres noires sont différentes des couches des périodes postérieures aux XI$^{e}$–XII$^{e}$ siècles, dans lesquelles sont perceptibles de nombreuses fosses, des murs, des sols et des bâtiments propres à la ville de la fin du Moyen Âge (Desachy et Borderie, 2012).

Dans un contexte de remise en cause de l'urbanité même des sociétés, après l'effondrement de l'Empire Romain, les terres noires furent d'abord interprétées comme les témoins d'un abandon des villes (Bayard et Massy, 1983). Mais, cette interprétation n'était pas en accord avec la présence d'autres vestiges : d'importantes nécropoles chrétiennes, des centres cultuels monumentaux et la mention, certes rare, de villes populeuses (Galinié, 2002 ; Samson, 1994). L'étude fine des terres noires et les nouvelles interprétations qui ont pu en être faites grâce à l'apport des géosciences, permettent de remettre en cause cette hypothèse d'un abandon des espaces urbains. En effet, à partir des années 1980, une approche géo-archéologique des terres noires est mise en place en Grande-Bretagne (Macphail, 1981 ; Macphail et Courty, 1985), plus tardivement en France (Cammas *et al.*, 1995) en Belgique (Devos *et al.*, 2009), en Suisse (Asal, 2017) et en Italie (Nicosia, 2006), puis plus récemment encore en Pologne (Krupski *et al.*, 2017), en Espagne (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2020), en Allemagne (Zagermann, 2019) et au Danemark (Wouters, 2018 ; Croix *et al.*, 2019) (Fig. 2). Elle consiste en l'exploration des couches pédo-sédimentaires grâce aux méthodes des géosciences, dans les contextes particuliers que sont les milieux artificialisés urbains (Borderie *et al.*, 2014a, 2020 ; Laurent et Fondrillon, 2010).

Les problématiques traitées par l'étude des terres noires urbaines sont, en effet, historiques. Il s'agit de comprendre comment les sociétés, par leurs modes de vie, d'occupation des espaces, de gestion des déchets, de rapport au sol, peuvent produire une telle sédimentation ? Comment s'opère l'artificialisation des surfaces par les sociétés urbaines anciennes ?

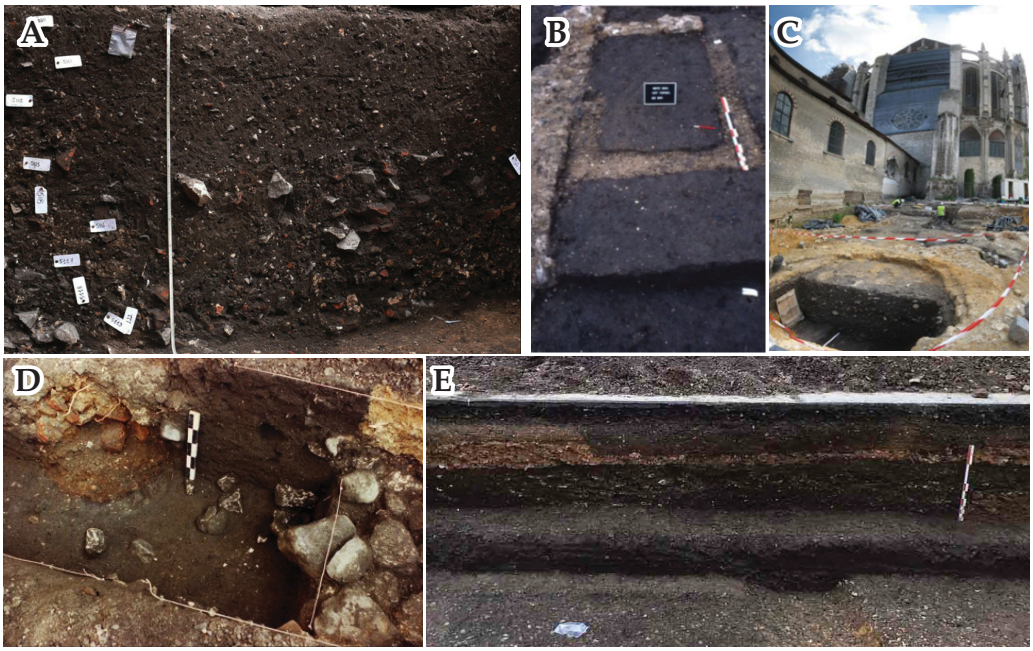


**Fig. 1.** Terres noires observées sur le terrain. A : îlot Sainte-Chrétienne, Metz (France), fouilles S. Augry, Inrap ; B : îlot Turmel, Metz (France), fouilles F. Gama, Inrap ; C : Cathédrale, Beauvais (France), fouilles B. Lefebvre ; D : rue de l'Évêché, Noyon (France), fouilles B. Desachy ; E : Galerie de la Tapisserie, Bayeux (France), fouilles G. Schutz.

***Fig. 1.*** *Field observations of Dark Earth. A: îlot Sainte-Chrétienne, Metz (France), excavations S. Augry, Inrap; B: îlot Turmel, Metz (France), excavations F. Gama, Inrap; C: Cathedral, Beauvais (France), excavations B. Lefebvre; D: Évêché street, Noyon (France), excavation B. Desachy; E: Galerie de la Tapisserie, Bayeux (France), excavations G. Schutz.*

L'analyse systématique des terres noires dans de nombreux sites a permis de constater, à l'échelle de toute l'Europe (Fig. 2), l'omniprésence de ces couches (Nicosia *et al.*, 2017), la grande complexité de leur mode de formation (Macphail, 1994) et le fait qu'elles ne sont pas synonyme d'un abandon des villes, bien au contraire (Borderie *et al.*, 2014b; Fondrillon, 2009). Ces résultats sont présentés ici, par l'exposé d'une synthèse de travaux et de cas encore inédits.

## 2 Répartition, méthodes d'étude et caractéristiques des terres noires

### 2.1 Les terres noires dans l'Europe urbaine du début du Moyen Âge (Ve–XIe s.)

Si la présence récurrente de terres noires dans les villes d'Europe a été constatée dès la fin des années 1970 (Roskams, 1978), l'ampleur du phénomène n'a été évaluée, à l'échelle de l'Europe, qu'au début des années 2010 (Borderie, 2011), par la réalisation d'un inventaire systématique dans le Nord de la France, et l'essor des recherches sur la question en Belgique, en Italie, en Pologne (Fig. 2). Dans les villes de Bruxelles (Belgique), Metz, Noyon et Beauvais, la systématisation des études a permis de mieux comprendre comment ces dépôts pouvaient s'insérer dans l'organisation des espaces urbains. Concernant Bruxelles, qui se développe au Moyen Âge à partir du XII$^{e}$ siècle (Devos *et al.*, 2011), les terres noires constituent les strates les plus anciennes et les plus profondes observables (Degraeve *et al.*, 2010, Devos *et al.*, 2020). Elles se retrouvent sur toute la superficie de l'espace urbanisé à partir du XII$^{e}$ siècle. En revanche, les villes de Metz, Beauvais et Noyon ont un passé romain, caractérisé par la présence de stratifications beaucoup moins organiques situées sous les terres noires (Fig. 3A). Elles sont aussi dotées, à la fin de l'Antiquité, d'une enceinte monumentale, qui enclot une surface respectivement de 60 ha, 10 ha et 1 ha (Brunella *et al.*, 1992 ; Desachy, 1991a, 1999 ; Flotté, 2005 ; Pietri *et al.*, 2006). Ces enceintes ont longtemps alimenté l'hypothèse d'une rétraction urbaine à l'intérieur de ces enclos (Bayard et Massy, 1983 ; Gauthier, 1986). Pourtant, des épaisseurs importantes de terres noires se trouvent à la fois à l'intérieur et à l'extérieur de ces enceintes, et peuvent aller jusqu'à 2 m de puissance à Metz *intra muros* (Augry *et al.*, 2011 ; Gébus et Gama, 2004) et *extra muros* (Alix *et al.*, 2009 ; Gama, 2010). Le même cas de figure est observable à Beauvais et Noyon, avec des épaisseurs atteignant respectivement 1 m et 1,50 m (Borderie, 2011 ; Desachy, 1991b ; Lacroix, 2004a ; Leman, 1982 ; Talon, 1987). Toujours dans ces trois villes, la corrélation des occurrences de terres noires avec les données propres à la ville de la période gallo-romaine montre qu'elles sont réparties sur tout l'espace urbanisé dans l'Antiquité, soit plus de 200 ha à Metz (Fig. 3). À Noyon, certains espaces à l'intérieur de cette enceinte tardo-antique sont dépourvus de terres noires (Borderie, 2011 ; Desachy, 1999), mais occupés par une architecture maçonnée monumentale, ou par le talus interne à l'enceinte, l'*agger* (Lacroix, 2004b ; Talon, 1987). Ces dispositions se retrouvent à Evreux (Gerber et Gerber, 1998). Si l'on confronte la répartition des terres noires avec celle des vestiges mobiliers attribuables au premier Moyen Âge (V$^{e}$–XI$^{e}$ s.), il est possible de constater, ici aussi, une cohérence des répartitions. Enfin,

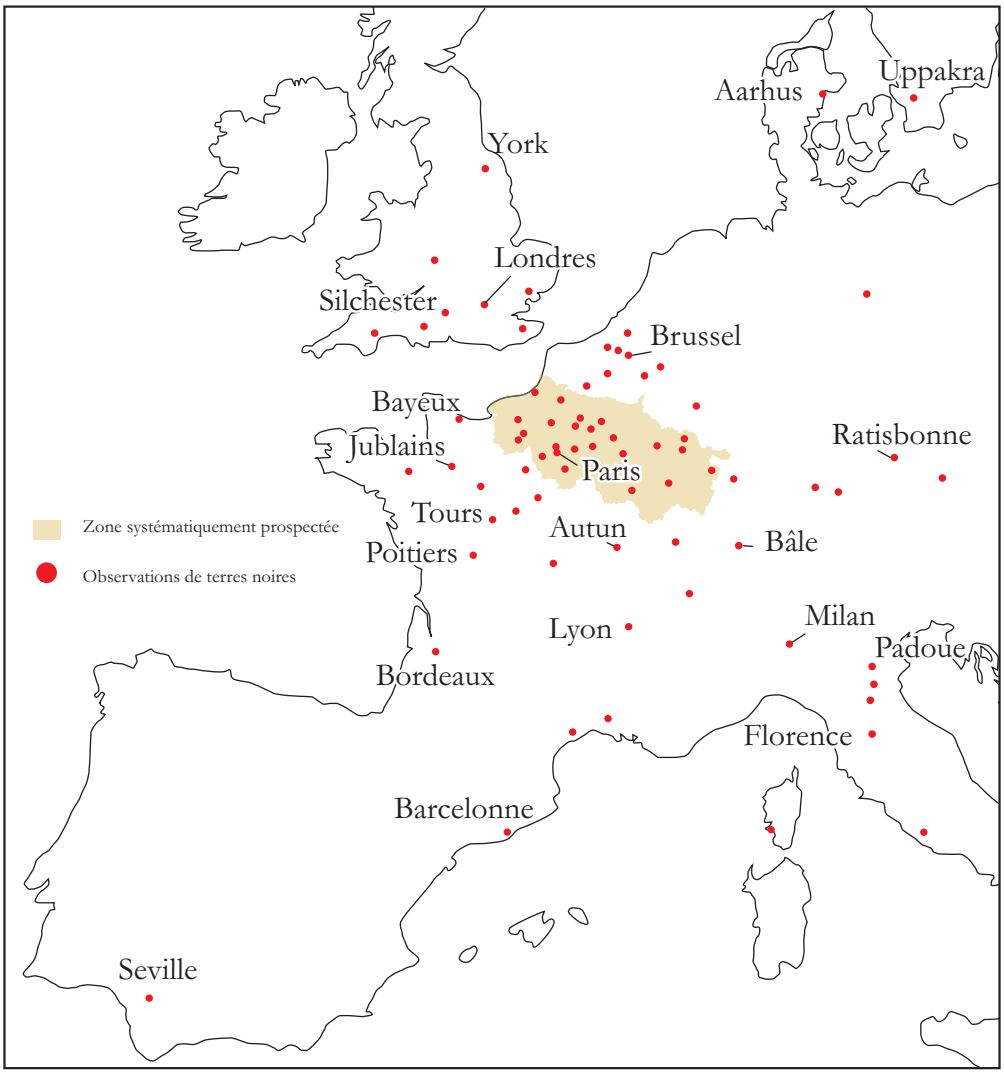


**Fig. 2.** Répartition des terres noires en Europe.
***Fig. 2.*** *Distribution of Dark Earth in Europe.*

il est intéressant de constater que les terres noires se forment sur les rues dont la continuité est constatée depuis l'Antiquité jusqu'à aujourd'hui (Borderie, 2011, 2015 ; Lacroix, 2004a). Des terres noires se trouvent aussi à côté d'édifices prestigieux et monumentaux, tels les cathédrales et les sièges d'évêchés, qui sont eux documentés par les sources écrites, comme à Reims (Balmelle, 2005), ou Noyon (Desachy, 1999 ; Gaillard et Desachy, 2006). C'est aussi le cas à Rouen (Le Maho, 1994), où les fouilles fines de la cour d'Albane (1985–1990) et de la cour des Maçons (1990–1991) ont permis de montrer que les terres noires étaient constituées de « trois à cinq niveaux d'accumulation » riches en déchets (Le Maho, 1993). À Beauvais, les fouilles faites sur le parvis de la cathédrale ont mis au jours une séquence de dépotoir riche en rejets de latrines, avec des teneurs en phosphore (méthode Mikkelsen) atteignant 22,8 g/kg (Borderie, 2011, p. 269 ; Borderie *et al.*, 2014b ; Lefèvre, 2008) .

## 2.2 Les méthodes d'étude

L'étude des terres noires combine une analyse de l'organisation spatiale en amont et au cours de la fouille, une approche fine de terrain, avec des fouilles par unités stratigraphiques et par passes arbitraires (quand aucune limite n'est perceptible), avec l'étude archéo-environnementale des sédiments. Cette dernière associe les disciplines des géosciences (sédimentologie, stratigraphie, pédologie, micromorphologie, géochimie) et de l'archéobotanique (carpologie, palynologie, phytolithaires), avec l'étude des vestiges mobiliers archéologiques et archéozoologiques (Borderie, 2011 ; Nicosia *et al.*, 2013). La méthodologie propre à la fouille des terres noires a été mise en place à Metz à partir des années 1980, par les équipes de l'Association française d'archéologie nationale et le Groupe de recherches archéologiques de Metz, en s'inspirant des travaux réalisés outre-Manche à la fin des

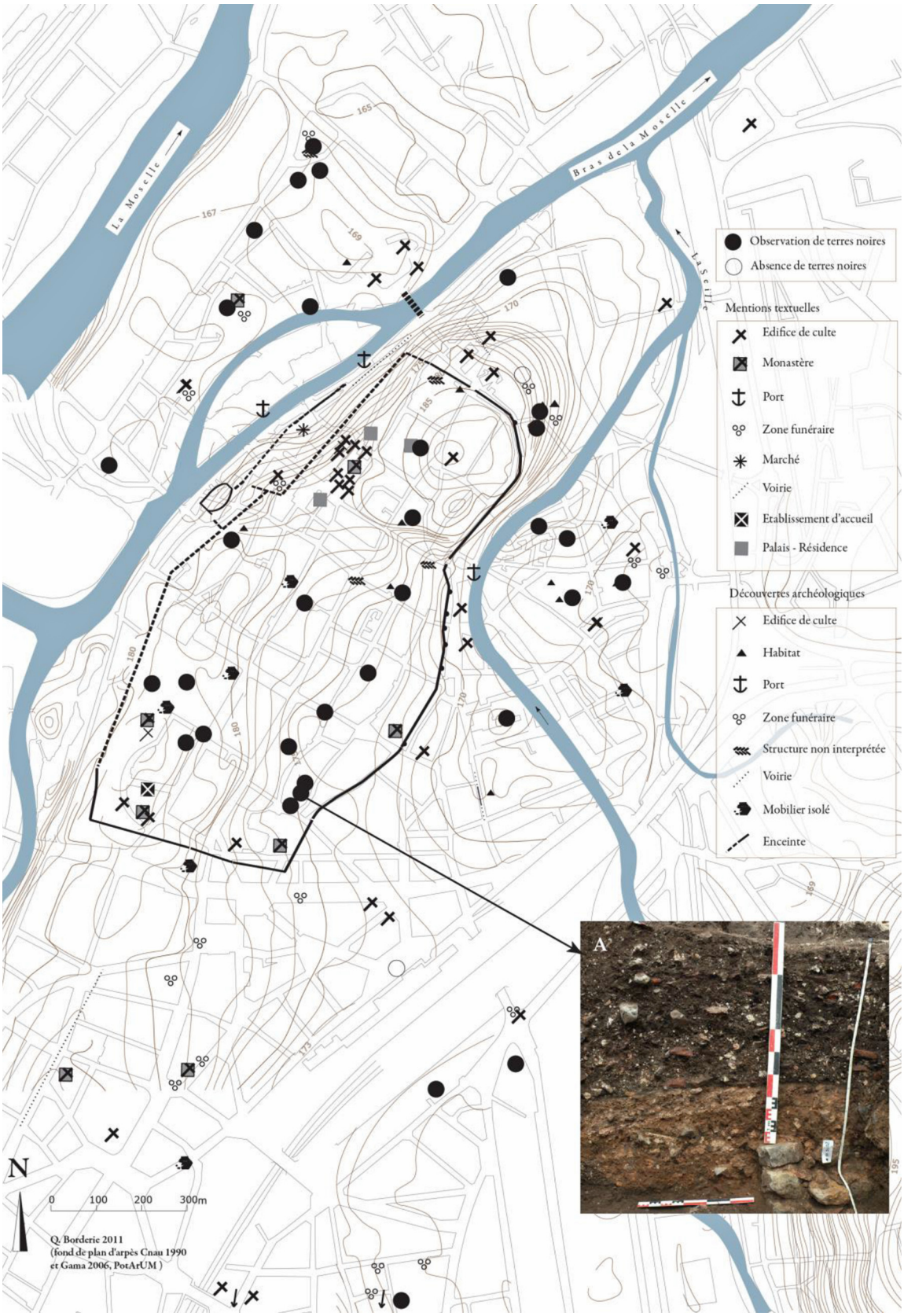


**Fig. 3.** Données archéologiques et occurrences de terres noires pour la Metz du premier Moyen Âge (d'après Borderie, 2011).
***Fig. 3.*** *Archaeological evidence and Dark Earth occurrence of Early Middle Ages Metz (from Borderie, 2011).*

| Passe | Mobilier GR (nr) | Mobilier HMA (nr) | % HMA | Dates C14 |
|---|---|---|---|---|
| 6190 | 275 | 44 | 13,79% | |
| 6197 | 96 | 34 | 26,15% | |
| 6209 | 151 | 31 | 17,03% | |
| 6218 | 603 | 128 | 17,51% | |
| 6227 | 723 | 111 | 13,31% | |
| 6236 | 1420 | 270 | 15,98% | |
| 6255 | 1062 | 229 | 17,74% | |
| 6277 | 1266 | 453 | 26,35% | 641-772 |
| 6305 | 1914 | 668 | 25,87% | |
| 6324 | 943 | 536 | 36,24% | |
| 6342 | 560 | 353 | 38,66% | 687-975 |
| 6359 | 52 | 13 | 20,00% | |
| 6413 | 280 | 152 | 35,19% | |
| 6418 | 462 | 275 | 37,31% | |
| 6501 | 208 | 75 | 26,50% | |
| 6518 | 692 | 384 | 35,69% | |

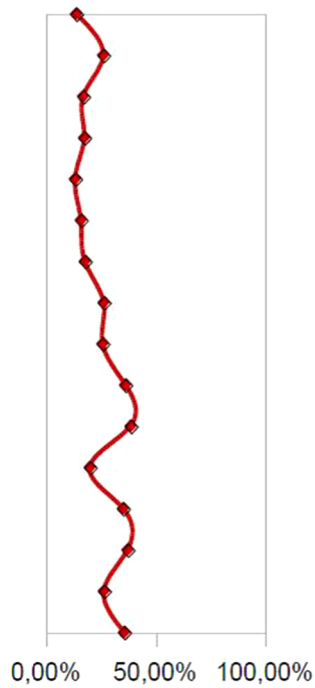


**Fig. 4.** Comptage des fragments de céramiques et datation des passes de terres noires lors de la fouille du Buisson (Jublains, France), d'après Bocquet 1998–1999.

***Fig. 4.*** *Counting of ceramic sherds and datation of the layers dug during the excavation of le Taillis des Boissières (Jublains, France), from Bocquet 1998–1999.*

années 1960 et pendant les années 1970 (Addyman, 1975 ; Roskams, 1978 ; Scheldon, 1978), étoffée jusque dans les années 2000, par les équipes de F. Gama, L. Gébus, J. Burnouf (Alix *et al.*, 2009 ; Gama, 2010, 2003 ; Gébus, 1995 ; Gébus *et al.*, 1998 ; Gébus et Gama, 2004). Ces méthodes ce sont ensuite généralisées (Cammas *et al.*, 1995) et ont été mises en pratique dans d'autres villes, comme à Tours (Jouquand *et al.*, 1999) ou Paris (Guyard, 2003).

L'analyse de l'organisation spatiale a pour premier objectif de resituer l'emprise des dépôts de terres noires dans la topographie urbaine à l'échelle de la ville. La présence d'éléments structurants de la période gallo-romaine (un axe de circulation, un bâtiment, un mur par exemple), peuvent permettre de proposer des hypothèses quant à la structuration des terres noires et des vestiges qu'elles contiennent. Lors de la fouille, la reconnaissance de fosses postérieures ou de concentrations de mobilier et de toute structure archéologique permet d'orienter les stratégies de fouille, et de reconnaitre les espaces où la stratification est mieux préservée. L'étude du mobilier archéologique, de sa nature, de son état, permet d'aider à cerner les chronologies de formation et d'interpréter les processus de dépôt. Ainsi, à Jublains, il a été possible de montrer que le mobilier céramique datant de l'Antiquité pouvait prédominer dans des couches pourtant datées des VIIe-VIIIe s. (Fig. 4, Boquet, 2001, 1999, repris dans Borderie, 2011, p. 73). Depuis les travaux de R.I. Macphail (Macphail, 1981, 1994, 2010), les analyses micromorphologique et physico-chimique (Tab. 1) sont très largement utilisées pour identifier les processus à l'origine de la formation des terres noires: types d'accumulations, structuration par la faune du sol, présence de déchets fins, vestiges d'anciennes surfaces (Borderie, 2014 ; Cammas, 2004 ; Devos *et al.*, 2011, 2017 ; Nicosia, 2018 ; Nicosia *et al.*, 2012 ; Wouters, 2016). Le comptage systématique sur les lames minces permet de quantifier les observations et de repérer des concentrations de micro-constituants, sur des épaisseurs pouvant atteindre 1,50 m (Fig. 5). C'est donc dans l'interdisciplinarité, en associant les résultats apportés par ces différentes disciplines, qu'il est ensuite possible d'interpréter les terres noires en termes d'occupation des espaces, de fréquentation des lieux, d'activités, de fonctions.

### 2.3 Épaisseur, chronologie, et contenu

Les terres noires sont caractérisées, en premier lieu, par leur chronologie. Si la précision interne de leur chronologie pose encore certaines difficultés, du fait de la prédominance du mobilier de la période gallo-romaine, de la rareté des structures « fermées » en leur sein, et de la remobilisation des matériaux datables (charbons) par les processus de leur structuration, il est certain qu'elles se mettent en place à partir du IV$^{e}$ siècle et sont présentes jusqu'au XII$^{e}$ siècle, plus rarement au-delà (Galinié, 2004). Ensuite, les terres noires sont caractérisées par leur couleur, leur épaisseur et leur homogénéité apparente. La couleur des terres noires est comprise entre 7.5 YR 5/1 et 10 YR 2/1, selon la charte Munsell de couleur des sols.

**Tableau 1.** Détail des protocoles utilisés dans les méthodes d'analyse physico-chimiques.
***Table 1.*** *Details of protocols used in chemistry methods.*

| Méthode | Protocole | Références |
|---|---|---|
| $CaCO_3$ (calcaire total) | Mesuré par conductibilité thermique après séparation chromatographique de la quantité de gaz dégagée après une chauffe à 1000°C des échantillons | NF ISO 10693, Cammas, 2004; Macphail, 1994; Nicosia, 2006; Toutain *et al.*, 2000 |
| Corg (carbone organique) | Calculé par la différence entre le calcaire total (ci-dessus) et le calcaire minéral ($0{,}12 \times CaCO_3$) | NF ISO 10694 |
| C/N (rapport carbone organique sur azote total) | Rapport entre la mesure du carbone organique et de l'azote total Azote total mesuré par conductibilité thermique après séparation chromatographique de la quantité de gaz dégagée après une chauffe à 1000°C des échantillons | NF ISO 13878, Cammas, 2004; Macphail, 1994; Nicosia, 2006; Toutain *et al.*, 2000 |
| LOI (perte au feu) | Pesée avant et après calcination à 550°c des échantillons préalablement tamisés à 2 mm et broyés | Davidson *et al.*, 2007; Goldberg et Macphail, 2006 |
| Pi (phosphore inorganique) | Dissolution des échantillons à l'acide sulfurique après tamisage à 2 mm, broyage et calcination à 550 °C. Mesures par ICP-AES | Holliday et Gartner, 2007; Liard, 2009; Macphail *et al.*, 2000; Mikkelsen, 1997 |
| Po (phosphore organique) | Différence entre les mesures par ICP-AES du phosphore total (dissolution des échantillons à l'acide sulfurique après tamisage à 2 mm et broyage) et du phosphore inorganique (ci-dessus) | |
| Fer | Dissolution des échantillons à l'acide fluorhydrique après tamisage à 2 mm, broyage et calcination à 450 °C. Concentrations mesurées par ICP-AES | NF ISO 11885 |
| Cu (cuivre)<br>Zn (zinc)<br>Pb (plomb) | | NF X 31-147 |

Toutefois, des variations peuvent être perçues, du fait de la constitution de la masse fine ou de la présence de certains constituants. Ainsi, une plus grande part de sable issu de la dégradation de mortier, ou d'alluvions, peut donner aux terres noires une légère teinte jaunâtre. La couleur sombre des terres noires n'est pas liée à la présence de manganèse, mais à la grande quantité de charbons et de végétaux microscopiques partiellement dégradés (Macphail, 1994).

La puissance sédimentaire constatée des terres noires est très variable. En effet, elle dépend des conditions de conservation des dépôts. Dans les contextes très érodés leur épaisseur peut être inférieure à 0,10 m, notamment du fait de la présence de caves de la fin du Moyen Âge. Ces excavations postérieures ont détruit toute la partie supérieure de la stratification. Le positionnement de ces caves, souvent en front de rue, conditionne donc les localisations possibles d'observation et d'étude des terres noires. Ce cas de figure a été notamment observé à Metz (Augry *et al.*, 2011 ; Gébus et Gama, 2004). Un inventaire systématique conduit pour le Nord de la France (Borderie, 2011) a montré que l'épaisseur moyenne des terres noires est comprise entre 0,40 et 0,80 m. Mais, dans des contextes peu érodés et protégés par la présence de zones non bâties ou de jardin à la période moderne par exemple, leur épaisseur peut dépasser 3 m. Les deux cas de figure (0,80 m et 3 m de puissance) ont pu être rencontrés à Metz, espacés de seulement 10 m (Augry et Borderie, 2014).

L'examen stratigraphique de l'épaisseur des terres noires permet de constater leur grande hétérogénéité interne. Celle-ci est liée à la présence de nombreux constituants grossiers, dont la répartition permet de reconnaître des surfaces, parfois des éléments de murs ou de calage de poteau (Gébus et Gama, 2004). À Lyon, la fouille fine des terres noires de l'Îlot

**Fig. 5.** Résultats du comptage systématique des traits et micro-constituants sur des lames minces provenant des terres noires de la place A. Briand à Noyon (France), d'après Borderie, 2011.

***Fig. 5.*** *Results of systematic counting of micro-features and micro-components on thin section, from a 2-m thick Dark Earth accumulation in A. Briand place, Noyon (France), from Borderie, 2011.*

**Tableau 2.** Résultats des analyses physico-chimiques pratiquées sur les terres noires.
***Table 2.*** *Results of Dark Earths chemistry analysis.*

| Site | Corg (g/kg) | $CaCO_3$ (g/kg) | C/N | LOI (g/100 g) | SM ($10^{-8}$ $kg^{-1}$) | Po (mg/kg) | Pi (mg/kg) | Fer (g/100 g) | Ref. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Jubilee Hall, Londres | 12 | 22 | – | | – | – | – | – | Macphail (1994) |
| Rangoon Street, Londres | 19 | – | 21 | – | – | – | – | – | |
| Southwark Street, Londres | 18 | – | 22 | – | – | – | – | – | |
| The Bedern, York | – | – | – | 11,3* | – | – | – | – | Goldberg et Macphail (2006) |
| St-Paul cathedral, Londres | – | – | | 5,5 | – | – | – | – | |
| Southwark, St Th., Londres | 19 | – | 24 | – | – | – | – | – | |
| Beer Cart Lane, Canterbury | – | – | – | 5,4* | – | – | – | – | Macphail (2003) |
| Poultry, Londres | – | – | | 7,9 | 210 | – | – | – | |
| Courage Brewery, Londres | 15,4* | 56,4* | – | 7,1* | – | – | – | – | |
| Bichopsgate, Londres | – | – | – | 7,3 | 157,8 | – | – | – | |
| Deansway, Worcester | – | – | – | 7,7 | 259 | – | – | – | |
| Colchester House, Londres | – | – | – | 5,4 | 75 | – | – | – | |
| Château-Thierry, France | 9,72* | 452* | 14,7* | – | – | – | – | – | Terres noires (2000) |
| Collège de France, Paris | – | 286* | 14,4* | – | – | – | – | – | |
| Biblioteca, Florence | 9* | 27* | 10,8* | – | – | – | – | – | Nicosia *et al.* (2012) |
| Chapelle, Beauvais | 17,1* | 256* | 18* | 7* | 76,8* | 653* | 20344* | 0,684* | Borderie (2011) |
| Tapisserie, Beauvais | 13,8* | 263,7* | 15,2* | 5* | – | 514* | 15125* | 0,782* | |
| Cloître, Beauvais | 18,26* | 266,8* | 20,7* | – | 76,4* | – | – | 0,701* | |
| Hôtel de ville, Evreux | 35,9* | 177,3* | 14,3* | 9,14* | 84,1* | – | – | 0,756* | |
| ZAC-Amphithéâtre, Metz | 12,46* | 133* | 18,6* | – | 58,4* | 509* | 12586* | 0,664* | |
| Sainte-Chrétienne, Metz | 18,78* | 224,3* | 18,0* | – | 124,5* | 942* | 22147* | 1,157* | |
| Cloître, Noyon | 10,7 | 201* | 15,7* | 2,84* | 55,4 | – | – | 0,739* | |
| Rue de l'évêché, Noyon | 19,7 | 128 | 15,8 | 5,56 | 82,4 | – | – | 0,841 | |
| Sq. Grospiron, Noyon | 11,9* | 115* | 19,8* | 3,93* | 56,2* | – | – | 0,618 | |
| **Moyenne** | 16,3 | 186,3 | 17,5 | 6,5 | 109,7 | 654,5 | 17550,5 | 0,771 | |

* Moyennes sur plusieurs échantillons.

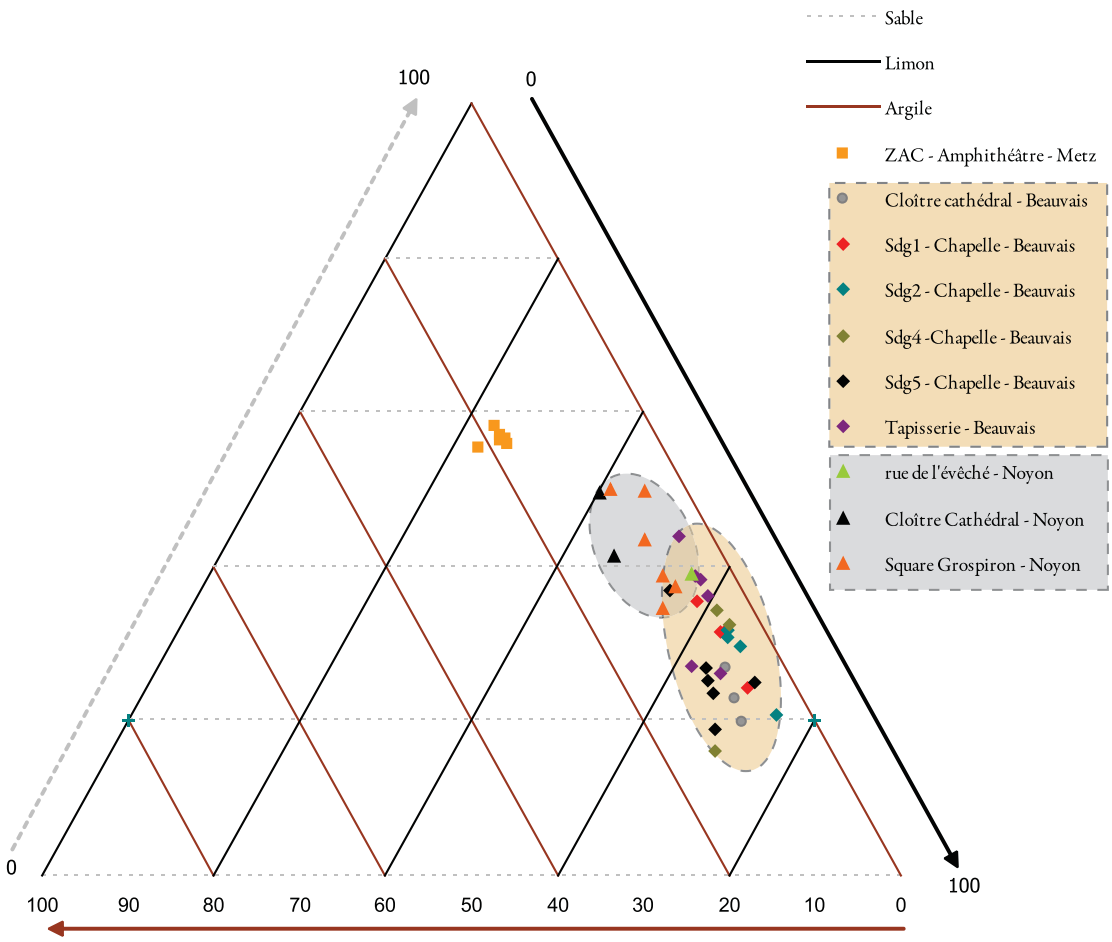


**Fig. 6.** Granularité des terres noires de Metz, Beauvais et Noyon, d'après Borderie, 2011.
***Fig. 6.*** *Grain size anaysis of Dark Earth from Metz, Beauvais, and Noyon, from Borderie, 2011.*

Tramassac a permis d'y identifier 9 phases (Arlaud *et al.*, 1994). Lorsque de telles organisations évidentes ne sont pas perceptibles, une analyse de la structuration spatiale (Djindjian, 1999) permet d'observer les organisations latentes. Cela est réalisable par la fouille en fines passes et par carrés, l'enregistrement en trois dimensions de la position des artefacts, leur type et leur poids, qui permet de renseigner le contenu de voxels, des divisons volumétriques de l'espace. L'analyse factorielle des correspondances montre ensuite les relations entre la position de ces voxels et leur contenu. Avec cette méthode, il a été possible de percevoir à Metz une stratification latente, par la répartition des types de céramique et des clous (Borderie *et al.*, 2012). Enfin, dans des cas plus rares, il peut arriver que des vestiges fugaces de surfaces soient conservés. Ainsi, des lambeaux de sols d'intérieur de bâtiment ont été trouvés sur quelques centimètres carré à Beauvais (Borderie, 2011), et sur moins de 2 $m^2$ à Noyon (Lacroix, 2004a).

Donc, l'homogénéité des terres noires n'est qu'apparente, liée à une mauvaise appréciation stratigraphique.

## 2.4 Caractéristiques physico-chimiques

La texture des terres noires est très peu dépendante du fond pédo-géochimique local. En effet, excepté dans des cas de sédimentations alimentées par des dépôts de crue (à Florence dans Nicosia *et al.*, 2012, à Metz dans Fig. 6), où les terres noires sont plus sableuses, elles admettent toujours une texture limono-sableuse à sablo-limoneuse indépendante du substrat. En revanche, d'une ville à l'autre et d'un site à l'autre, des constantes peuvent se retrouver. C'est le cas avec Noyon et Beauvais, par exemple, pour lesquelles les terres noires peuvent se distinguer par leur texture (Fig. 6). Quant à la part des constituants grossiers, elle peut être très variable.

Les terres noires sont particulièrement riches en matière organique, relativement aux autres stratifications qui composent le sous-sol urbain (Tab. 2). Les valeurs moyennes de carbone organique sont comprises entre 9 et 35,9 g/kg, alors qu'elles sont inférieures à 10 g/kg pour les contextes de la période gallo-romaine (Borderie *et al.*, 2014a). Les teneurs en phosphore sont très importantes (Tab. 2), puisqu'elles

dépassent 12 g/kg, ce qui correspond à des contextes de latrines dans les référentiels archéologiques (Goldberg et Macphail, 2006). Les teneurs en $CaCO_3$ sont très variables, inférieures à 100 g/kg dans les contextes sableux de Londres, Bruxelles et Florence, mais comprises entre 100 et 300 g/kg dans les environnements plus carbonatés (Paris, Beauvais, Noyon, Metz). Enfin, les teneurs en métaux lourds sont révélatrices d'une forte pollution. Si le fer est seulement compris entre 0,618 et 1,157 g/kg, cela correspond déjà à un sol riche en fer (Inra GISsol). Dans les quatre secteurs du site de Sainte-Chrétienne à Metz, les teneurs en cuivre, zinc et plomb sont particulièrement élevées, dépassent largement celles des strates de la période gallo-romaine et, pour la plupart, dépassent même les seuils de sécurité fixé aujourd'hui (Tab. 3). Notamment, le plomb atteint jusqu'à 1830 mg/kg.

### 2.5 Les caractéristiques micromorphologiques

L'analyse des dépôts de terres noires au microscope optique permet d'identifier les traits et les micro-constituants qui les composent. Ainsi, les grains de sable et de limon sont généralement constitués de quartz, potentiellement associés à d'autres minéraux (silice, feldspath, calcite, calcite-micritique, glauconie) issus du substrat local. Ces grains proviennent parfois de la dégradation de mortiers de chaux et sont alors enveloppés dans de la calcite micritique. Il a aussi pu être constaté l'omniprésence de la bioturbation, dans tous les contextes analysés (Borderie, 2011, 2011 ; Cammas, 2004 ; Devos *et al.*, 2009 ; Macphail, 1981, 1981 ; Nicosia, 2006). Elle est identifiable à l'agrégation, ainsi qu'à la présence de biosphéroïdes calcitiques. Cette bioturbation est liée à l'activité racinaire, et surtout à celle des vers de terre, lombrics et enchytréïdes. Dans un grand nombre de cas observés, une organisation sub-horizontale est néanmoins conservée, vestige d'anciennes surfaces et sub-surfaces, où s'exprime l'agrégation issue de l'activité d'enchytréïdes (Cammas *et al.*, 1998). La bioturbation n'a donc pas entraîné la disparition totale des organisations sub-horizontales. Ces organisations peuvent montrer, en outre, des traces de tassement provoquées par le piétinement. Dans de plus rares cas, des organisations massives d'entassement de grains et d'agrégats peuvent se rencontrer. Ces accumulations épaisses présentent alors un gradient vertical plus net dans la bioturbation et la distribution des biosphéroïdes calcitiques (Augry et Borderie, 2014 ; Borderie, 2011). La dégradation des matières organiques est aussi observable, par la fragmentation des charbons et des végétaux, leur humification, la teinte brune de la fraction argileuse de la masse fine (Fig. 7A). La présence de revêtements dans les pores est plutôt rare, tout comme celle de carbonatations secondaires. Dans certains cas, les teneurs importantes en phosphore provoquent la formation de cristaux de vivianite dans des contextes réducteurs micro-locaux (Fig. 7A) (Gebhardt, 1997 ; Macphail, 1994 ; Macphail et Courty, 1985). Les micro-constituants anthropogènes identifiables par l'analyse micromorphologique sont nombreux et diversifiés. Les micro-charbons sont très nombreux, ainsi que les petits fragments de végétaux partiellement dégradés. C'est leur grand nombre qui donne cette couleur très sombre aux terres noires. L'observation de fragments de céramique, de terre à bâtir, de mortier, d'os, d'os de poisson, de coquille d'œuf et de phytolithes est aussi récurrente; plus rarement, on y trouve des graines et du bois (Fig. 7B–E). La présence de plages cendreuses, carbonatées, peut être parfois observée, tandis que les agrégats de silice fondue sont récurrents (Fig. 7F).

## 3 Processus à l'origine de la formation des terres noires

### 3.1 Les apports de matériaux sédimentaires

À l'échelle macroscopique de l'aire fouillée ou à celle microscopique de la microstructure, l'organisation des terres noires renseigne sur les processus à l'origine de leur accumulation. Ces informations sont précisées par la nature et l'état des micro-constituants. Dans de rares cas, les apports peuvent être massifs et épais, mais dans la grande majorité des cas il s'agit d'accumulations progressives, comme le montre la préservation d'une agrégation biologique de surface ou de sub-surface. Les matériaux apportés sont, pour partie, issus de la dégradation d'architectures maçonnées ou en terre dans lesquelles sont utilisés les mortiers de chaux ou la terre crue (Macphail, 1994). Celle-ci est identifiable par la présence d'agrégats limono-sableux ou sablo-limoneux manufacturés. Cependant, la plus grande part des matériaux présents dans les terres noires est constituée du produit d'activités humaines et des modes de fréquentation des espaces. Ces matériaux peuvent être bien conservés, disposés à plat, et documenter alors les activités ayant lieu sur place. C'est le cas des phytolithes en connexion anatomique, des excréments d'omnivores ou d'herbivores écrasés, d'os de poisson et de coquilles d'œuf fragmentés en place ou encore de lentilles de cendres (Borderie, 2011). Il s'agit donc des déchets et dépôts, volontaires ou non, laissés lors de l'occupation des espaces et qui contribuent progressivement à l'exhaussement des surfaces. Dans certains cas de figure, l'état des micro-constituants indique une redistribution des matériaux, dont l'origine est à situer à plus grande distance du lieu de leur découverte. Leur dégradation est alors avancée, soulignée par une ferruginisation marquée, une importante fragmentation ou une morphologie sub-arrondie (Devos *et al.*, 2017 ; Macphail, 2003, 2010). Ils peuvent même être inclus dans des agrégats, parfois phosphatés, dont la production témoigne d'un usage spécifique de l'espace localisé ailleurs ou du séjour de ces micro-constituants dans des milieux différents, plus humides ou plus riches en matières organiques. C'est le cas pour des fragments de sols d'étables contenant des excrément d'herbivores et parfois des diatomées, qui sont trouvés dans des espaces interprétables comme liées à l'horticulture urbaine (Gama, 2010 ; Nicosia, 2018), ou de sols d'intérieur d'habitat retrouvés dans des espaces extérieurs (Borderie *et al.*, 2018).

### 3.2 La restructuration

Dans quelques cas, notamment à Bruxelles, la présence d'agrégats tranchés suggère l'utilisation d'outils de travail du sol, qui ont pu contribuer à une restructuration des anciennes surfaces et à leur effacement (Devos *et al.*, 2009). Dans la plupart des cas, les nombreux indices de bioturbation, associés aux processus d'une accumulation progressive, montrent que la structuration des terres noires s'opère à mesure de

**Tableau 3.** Résultats des analyses de métaux lourds (HF) (d'après Augry *et al.*, 2011; Borderie, 2011).
***Table 3.*** *Results from heavy metal analysis (HF) (from Augry* et al.*, 2011; Borderie, 2011).*

| Secteur | Cuivre (mg/kg) | Zinc (mg/kg) | Plomb (mg/kg) |
|---|---|---|---|
| Z1 (1 mesure) | 55,6 | 57,7 | 72,5 |
| Z2 (7 mesures) | (min. 67,2) 121,6 (max. 165) | (min. 73,1) 121,7 (max. 137) | (min. 164) 250 (max. 353) |
| Z3 (3 mesures) | (min. 76,6) 79,9 (max. 81,9) | (min. 115) 120 (max. 126) | (min. 157) 164 (max. 169) |
| Z4 (11 mesures) | (min. 31) 161 (max. 431) | (min. 101) 140 (max. 164) | (min. 235) 564 (max. 1830) |
| GR | 39,5 | 51,4 | 138 |

l'accrétion et du dépôt des matériaux. Cette bioturbation est alors entretenue par la nature des matériaux, riches en matière organique, tout en étant contrainte par les dépôts constants et le tassement des surfaces, liés à la fréquentation intense des espaces. Dans ces cas de figure, les terres noires peuvent donc constituer des anthroposols cumuliques (Cammas, 2004). Enfin, excepté dans le cas d'apports massifs ensuite soumis à une pédogenèse, le transfert de particules ne semble que faiblement contribuer à la structuration des terres noires. Les revêtements dans les pores sont le plus souvent absents, et les carbonatations secondaires très rares (Borderie, 2014 ; Cammas, 2004 ; Devos *et al.*, 2009 ; Macphail, 1994 ; Nicosia *et al.*, 2012).

### 3.3 Les activités à l'origine des terres noires

Conjointement à l'interprétation des modes de formation des pédo-stratifications, l'analyse du spectre des constituants présents dans les terres noires, déposés sur les surfaces ou remobilisés, permet de renseigner les activités à l'origine de ces dépôts (Macphail, 1981 ; Macphail et Courty, 1985). La présence systématique de nombreux de construction, dégradés, suggère que des activités liées à la préparation, la mise en œuvre ou la récupération de ces matériaux prennent place dans ces espaces (Macphail, 1994). Les activités domestiques se retrouvent quasi-systématiquement (Gebhardt, 1997 ; Gébus et Gama, 2004 ; Macphail *et al.*, 2008). Elles sont documentées par la présence de déchets culinaires tels les os et coquilles d'œufs chauffés, les fragments de céramique, les cendres et les charbons, ainsi que par une masse fine phosphatée. Dans de nombreux cas, des indices d'activités artisanales peuvent aussi être observés, par la présence de cendres, de scories, de verre et d'agrégats de silice fondue, ainsi que de fragments d'agrégats limono-sableux chauffés à haute température. La perception d'une activité artisanale intense est soulignée par une forte pollution aux métaux lourds, notamment au plomb. Plus rarement, des indices de mise en culture peuvent être relevés, par la présence de phytolithes de céréales, associés à d'autres déchets organiques liés à l'enrichissement des sols (Devos *et al.*, 2009, 2013). Enfin, le rejet de fèces est récurrent dans ces espaces. Il se matérialise par des sédiments très riches en phosphore, mis en exergue par la cristallisation de vivianite, et la présence d'excréments, dont la bonne conservation permet parfois d'identifier une origine omnivore ou herbivore.

Ces différents spectres d'activités ne sont jamais exclusifs. Dans tous les cas étudiés, les terres noires montrent au contraire une concomitance de systèmes d'activités complexes. Les comptages systématiques sur une même séquence permettent de percevoir les variations au sein de ces systèmes d'activités. Ainsi, rue de l'évêché à Noyon, dans une séquence bien marquée par la succession de sub-surfaces structurées par les enchytréïdes ou les lombrics, il est possible de constater une alternance entre des rejets d'excréments d'omnivores et des rejets d'excréments de grands herbivores (Fig. 8).

## 4 Les modes d'occupation et l'urbanité du premier Moyen Âge

### 4.1 Les matériaux et les surfaces

À l'échelle de l'Europe, le premier résultat de l'analyse des terres noires est le constat d'un changement radical dans la nature des matériaux constitutifs des espaces urbains et des surfaces parcourues. En effet, même si les matériaux maçonnés et les mortiers de chaux ne disparaissent pas complètement, les principaux matériaux de construction identifiés sont en terre. Si l'origine des fragments fins de végétaux ne peut être assurée, il est possible qu'ils puissent aussi entrer dans la constitution d'architectures, comme c'est le cas pour les chaumes (Gébus *et al.*, 1998). Ensuite, les surfaces parcourues ne sont pas minéralisées, bétonnées, comme elles peuvent l'être davantage pour la période gallo-romaine. Au contraire, les sols sont le lieu d'une intense vie biologique, qui peut être entretenue par la nature des déchets rejetés par les activités humaines. Les vers de terre sont omniprésents, même dans les espaces intensément parcourus, comme les rues, ainsi que dans les sédiments pollués aux métaux lourds.

### 4.2 Les modes de gestion des déchets

Les modalités de constitution des épaisseurs de terres noires, qui associent des apports progressifs de rejets avec des espaces fréquentés, permettent de percevoir une gestion particulière des déchets dans la ville du début du Moyen Âge. La pratique des dépôts sur place, à proximité des lieux de vie, semble être privilégiée relativement à celle d'une relégation dans des espaces extérieurs à la ville, comme cela a pu être constaté pour les agglomérations du monde romain (Ballet *et al.*, 2003 ; Kaspzryk et Labaune, 2003 ; Nin et Leguilloux, 2003), ou à celle du remplissage de fosses-dépotoirs mises en évidence surtout à partir du XIII$^{e}$ siècle (Arlaud *et al.*, 1994 ; Brunella *et al.*, 1996 ; Catalo, 2002 ; Desachy, 1991b ; Galinié, 2007 ; Leguay, 2003). Pour autant, il est aussi possible de percevoir une certaine prise en compte de la valeur des déchets, et des procédés de recyclage, notamment pour l'amendement des sols. La présence d'agrégats poten-

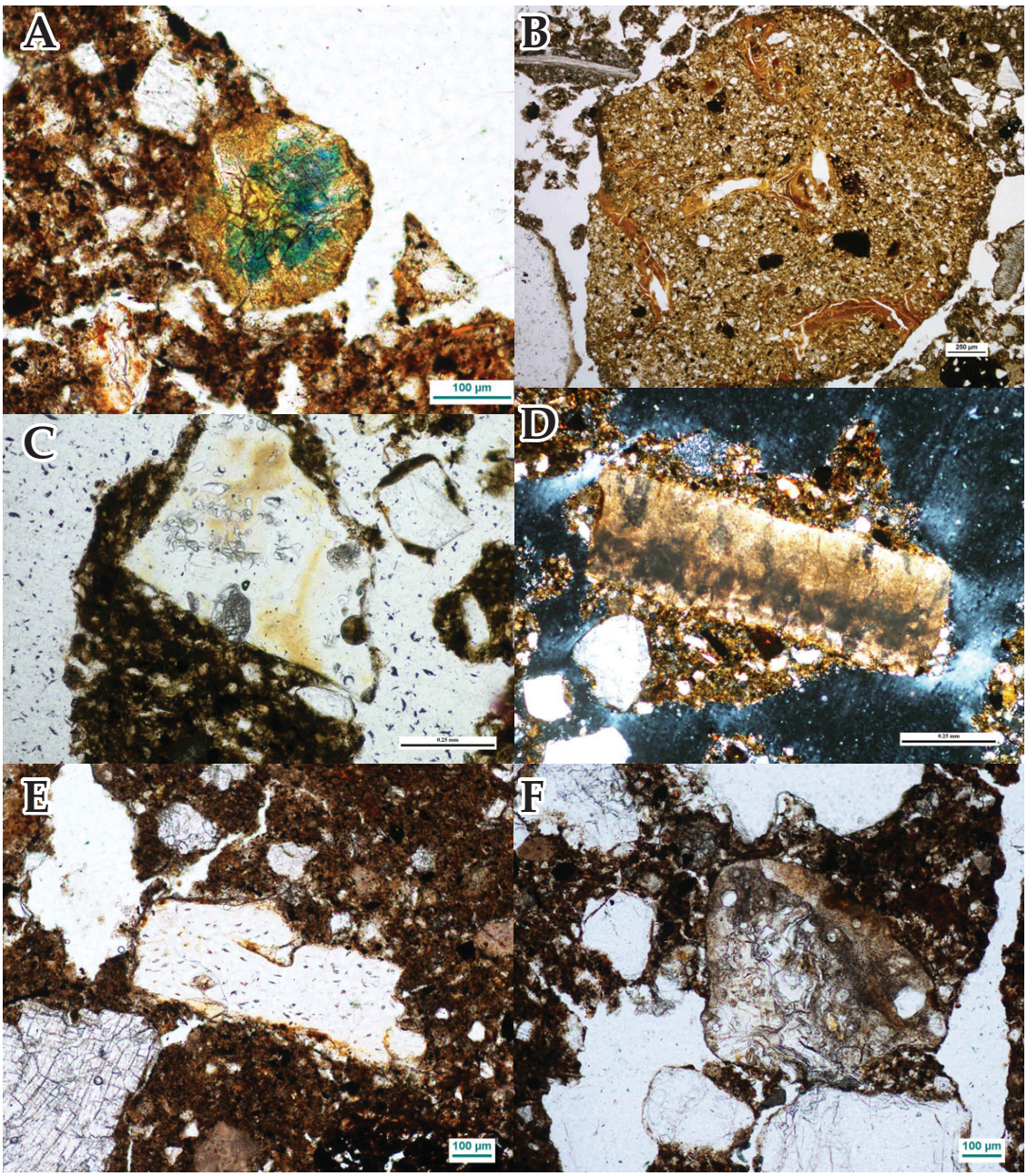


**Fig. 7.** Microphotographies de terres noires. A : masse fine teintée par la matière organique et vivianite (LPnA) ; B : Limon argileux issu d'horizon BT de luvisol présentant des revêtements argileux, utilisé comme matériau de construction (LPnA) ; C : Fragment de verre ; D : Fragment de coquille d'œuf (LPA) ; E : Fragment d'os brûlé (LPnA) ; F : Agrégat de silice fondue (LPnA).

***Fig. 7.*** *Microphotographies of Dark Earth. A: Decayed organic matter and vivianite (PPL); B: Clayish silt from BT horizon of luvisol with clay coatings used as building material (PPL); C: fragment of glass (PPL); D: fragment of egg shell (XPL); E: Fragment of burned bone (PPL); F: Melted silica (PPL).*

tiellement issus de zones de parcage d'animaux a ainsi pu être constatée dans des secteurs de mise en culture (Crabtree *et al.*, 2017 ; Devos *et al.*, 2009, 2013 ; Nicosia, 2018). Les déchets, même les excréments, sont aussi considérés comme des matériaux de construction à part entière, que ce soit pour la construction de surfaces non bétonnées (Borderie *et al.*, 2018) ou pour celle d'élévations, comme cela a pu être constaté lorsque celles-ci sont conservées (Macphail *et al.*, 2008).

#### 4.2.1 Pratiques spatiales: mobilité et co-fonctionnalité

L'étude des terres noires permet d'envisager, pour le premier Moyen Âge, des pratiques spatiales particulières, qui complexifient notre perception des espaces urbains et de leur fonctionnalité. En effet, elles montrent en premier lieu une pratique de rejets dans des espaces fréquentés, ce qui sous-tend une certaine perception de ce qui peut être considéré comme

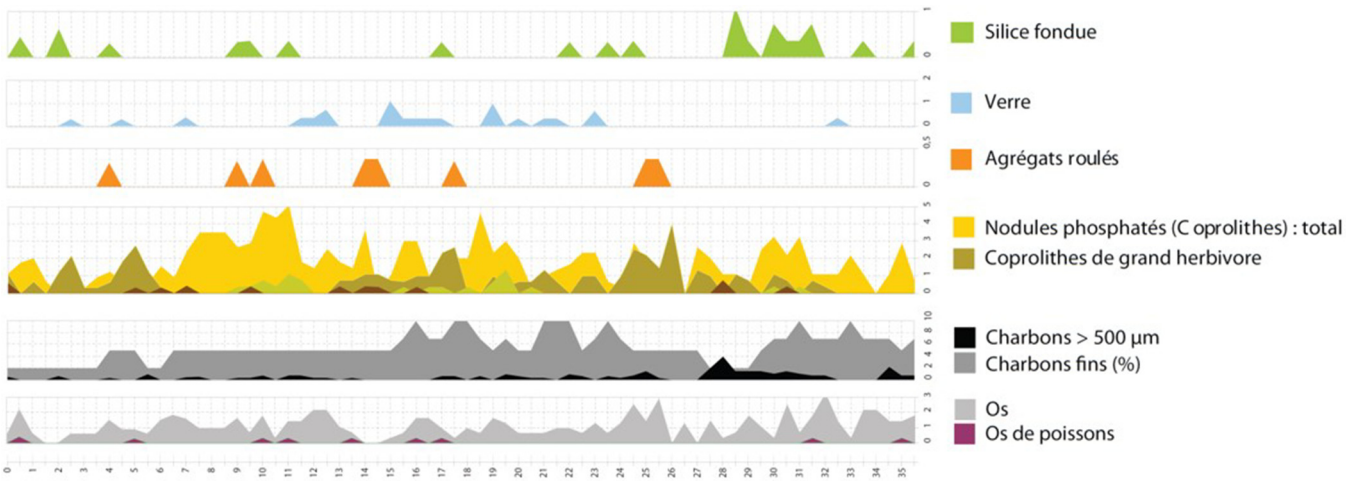


**Fig. 8.** Résultats du comptage systématique des traits et micro-constituants sur des lames minces provenant des terres noires de la rue de l'évêché à Noyon (France), d'après Borderie, 2011.

***Fig. 8.*** *Results of systematic counting of micro-features and micro-components on thin section, from the Dark Earth accumulation in rue de l'évêché à Noyon (France), from Borderie, 2011.*

sale ou propre. La nature des surfaces, en constante évolution et transformation, dans lesquelles œuvre une vie biologique, suggère aussi un rapport au sol urbain différent de celui qui a pu être vécu à la période gallo-romaine ou à la fin du Moyen Âge et jusqu'à aujourd'hui. Cette nature organique et vivante des surfaces peut aussi se retrouver dans les agglomérations de l'âge du Fer, comme sur l'oppidum d'Amboise (Laruaz, 2019) ou à Chartres (Coussot, 2008). Enfin, le constat de la multiplicité des activités pratiquées dans un même lieu montre qu'à un seul espace ne peut pas être associée une seule fonctionnalité, mais que des usages multiples doivent être envisagés. Les activités artisanales peuvent être juxtaposées aux activités domestiques, comme cela a été montré à Metz, Bayeux et Bruxelles (Borderie, 2011, 2014 ; Devos *et al.*, 2011 ; Guyard, 2003 ; Nicosia *et al.*, 2013 ; Schütz *et al.*, 2014), les arrière-cours peuvent être dédiées conjointement à l'horticulture, au parcage d'animaux et au rejets de déchets (Gebhardt, 1997 ; Gébus et Gama, 2004) et les espaces de circulation sont aussi des espaces de rejets et de parcage d'animaux, comme c'est le cas à Noyon et Evreux (Borderie, 2014, 2015). De surcroît, la dispersion spatiale des indices relatifs à ces activités, qu'elle soit liée à une redistribution volontaire ou une diffusion (pollutions atmosphériques au plomb par exemple, Augry *et al.*, 2011 ; Gama, 2010), invite à percevoir la ville comme un *continuum* spatial, et non pas comme une juxtaposition d'espaces fonctionnellement figés. Ces résultats renouvèlent donc la perception que l'on peut avoir tant de l'organisation des villes que de l'artificialisation des espaces qui la composent. À ce titre, les modes d'occupation actuels des espaces urbains en Mongolie, en Afrique sub-saharienne ou au Moyen Orient montrent des exemples certes décalés, mais néanmoins évocateurs, de ce que peuvent être d'autres trajectoires urbaines (Choplin, 2012), où les déchets sont stockés, répandus et recyclés dans les espaces habités (Cann, 2012 ; Chombart de Lauwe et Pribetich, 2013), où l'horticulture est pratiquée sur les intersections de rue, les ronds-points (Bondaz, 2011 ; Moustier et Pages, 1997), et où une cour d'immeuble peut être consécutivement un dépotoir, un atelier de potier, de fabrication de briques d'adobe et un espace de vannage de céréales (observation des auteurs à Herat (Afghanistan) et Bakhtapur (Népal) en 2008 et 2013).

## 5 Conclusion

Depuis le constat de l'omniprésence de ces épaisses couches organiques sombres dans les strates urbaines du début du Moyen Âge, jusqu'à leur interprétation en termes de pratiques sociales, l'analyse des terres noires invite à une nouvelle lecture de l'urbanité des sociétés, et des manières de « faire de l'urbain » entre le IV^e^ et le XII^e^ siècles en Europe, dont l'une des conséquences indirectes est le stockage de carbone dans les villes. En effet, face à des schémas interprétatifs historiques essentiellement fondés sur le modèle de villes remplissant des fonctions telles que celles de place d'échange commercial, de pôle administratif et religieux, de centre de production artisanale, etc., les données issues de la documentation historique et des archives sédimentaires se heurtent à un paradoxe factuel: la description de villes populeuses mais qui ne laissent aux archéologues que de chiches témoins matériels. Les informations relatives aux sociétés sont pourtant contenues dans ces épaisses terres noires organiques, dont les 1,50 m de puissance représentent jusqu'à 900 ans de vie urbaine (Burnouf, 2002). Mais leur prise en compte nécessite une réévaluation des critères de lecture de l'urbanité et une complexification du discours sur les modes d'occupation des espaces. Pour « dépasser le concept d'attente » que ce constat des terres noires invite à formuler (Fondrillon, 2009 ; Galinié, 2004), l'archéologie doit faire appel aux disciplines des géosciences, et comprendre quelles peuvent être les manières inédites de faire la ville dans cette société plurielle du début du Moyen Âge.

En effet, les recherches interdisciplinaires exposées ici, dans lesquelles les géosciences ont un rôle primordial, ont

dévoilé, derrière l'apparente homogénéité des terres noires, toute la richesse d'une vie urbaine complexe. Depuis la fouille des couches archéologiques jusqu'à leur interprétations en termes de processus de dépôts, de transformation et de comportements socio-spatiaux, les méthodes des sciences de la Terre et du sol permettent de mieux comprendre comment des activités diverses et denses ont pu conduire, aujourd'hui, à la formation d'une couche épaisse et d'apparence homogène. La sédimentologie, la géochimie et la micromorphologie des sols archéologiques conduisent ainsi à détailler la composition des terres noires (taille et nature des micro-constituants, teneurs en pollutions organiques et métalliques) et à identifier les processus qui ont conduit à leur accumulation et à leur structuration (dépôts de déchets, présence d'excréments, activité biologique, tassements, dégradation des matières organiques). Replacées dans un dialogue interdisciplinaire dans lequel interviennent l'archéologie, la céramologie, l'archéobotanique et l'archéozoologie, il est alors possible de comprendre comment des activités variés ont été pratiquées sur place ou à proximité et ont produit cette sédimentation urbaine spécifique. En définitive, l'interprétation des modes d'accumulation et de structuration de ces anthroposols a montré comment ils peuvent résulter d'un rapport avec la matérialité des sols différent de celui que nous connaissons aujourd'hui. Les matériaux organiques sont privilégiés et les surfaces extérieures sont des sols vivants, structurés par l'activité biologique. Celle-ci structure et transforme les sédiments à mesure de leur dépôt, interdisant donc l'enregistrement d'interfaces stratigraphiques qui auraient pu individualiser des épisodes de dépôt. De surcroît, cette activité biologique est alimentée et entretenue par la richesse de ces sols urbains en matières organiques, carbone, phosphore et l'absence d'imperméabilisation.

Les espaces recueillent donc les déchets d'activités urbaines diversifiées, depuis l'horticulture et l'habitat domestique jusqu'aux activités artisanales polluantes, selon un mode de gestion des déchets qui privilégie le rejet sur place ou à proximité, sans interdire le recyclage des matériaux et l'amendement des cultures avec ces mêmes déchets. À l'heure où se posent les questions du stockage du carbone et de la diminution des émissions dans les villes, certains enseignements se trouvent donc peut-être dans les manières qu'ont eues les sociétés du début du Moyen Âge de construire la ville et d'y vivre.

## Références


Addyman P. 1975. Excavations in York. 1972–1973. *Antiqu J* 54: 200–231.

Alexandrovskaya EI, Alexandrovskiy AL. 2000. History of the cultural layer in Moscow and accumulation of anthropogenic substances in it. *Catena* 41: 249–259.

Alix S, Gébus L, Gama F, Georges-Leroy M, Thion P. 2009. Quartiers périphériques de Metz antique. L'apport des recherches récentes. *Archéopages* 24: 6–13.

Arlaud C, Burnouf J, Bravard J-P., Lurol J, Vérot-Bourrély A. 1994. Lyon Saint-Jean : les fouilles de l'îlot Tramassac. Lyon: Service régional de l'archéologie (documents d'archéologie en Rhône-Alpes, 4. Série lyonnaise ; 10).

Asal M. 2017. Basilia – Das spätantike Basel. Untersuchungen zur spätrömischen und frühmittelalterlichen Siedlungsgeschichte. Die Grabung Martinsgasse 6+8 (2004/1) und weitere Grabungen im Nordteil des Münsterhügels, Materialhefte zur Archäologie in Basel. Basel: Kanton Basel-Stadt.

Augry S, Adam F, Bertrand A, Borderie Q, Braguier S, Delage R, *et al.* 2011. Metz, 50 à 58 rue Dupont-Des-Loges, 9 à 15 rue Saint-Gengoulf. Évolution d'un cœur d'îlot urbain de la fin de l'Antiquité à nos jours, rapport final d'opération. Metz: SRA Lorraine.

Augry S, Borderie Q. 2014. Le jardin du cloître des carmélites de Metz (XVIIe-XVIIe siècles). Étude archéologique de l'aménagement d'un jardin en contexte urbain. *Archéopages* 37: 28–31.

Ballet P, Cordier P, Dieudonné-Glad N. 2003. La ville et ses déchets dans le monde romain : rebuts et recyclages. In: Actes du colloque de Poitiers, 19–21 septembre 2002. Montauban: Monique Mergoil.

Balmelle A. 2005. Parvis de la cathédrale, place du cardinal Luçon, Reims, rapport de diagnostic. Châlon-en-Champagne: SRA Champagne-Ardenne.

Bayard D, Massy J-L. 1983. Amiens romain: Samarobriva Ambianorum. Amiens: Revue archéologique de Picardie.

Béchet B, Le Bissonnais Y, Ruas A. 2017. « Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action », synthèse du rapport d'expertise scientifique collective. Paris: Inra.

Biddle M. 1969. Excavations at Winchester, 1968. Seventh interim report. *Antiqu J* 55: 295–329.

Bondaz J. 2011. Parcs urbains et patrimoine naturel en Afrique de l'Ouest de la période coloniale au cinquantenaire des Indépendances. *Patrimonialisation en Afrique* 79: 67–87. https://doi.org/10.4000/gc375.

Boquet A. 2001. Le taillis des Boissières, 53.122.148, campagne de fouilles programmées 2000. Nantes: SRA Pays de la Loire.

Boquet A. 1999. Le taillis des Boissières, 53.122.148, campagne de fouilles programmées 1999. Nantes: SRA Pays de la Loire.

Borderie Q. 2015. Evreux, hôpital Saint-Louis – Parvis de la cathédrale, étude géoarcheologique, micromorphologie et physicochimie. Rouen: Service régional de l'Archéologie de Haute-Normandie.

Borderie Q. 2014. De la matrice sédimentaire aux pratiques socio-spatiales : deux stratifications de terres noires à Noyon (Oise). In: ArcheoDoc 5. Paris: Presses Universitaires de la Sorbonne, pp. 61–64.

Borderie Q. 2011. L'espace urbain entre Antiquité et Moyen Âge, géoarchéologie des terres noires : études de cas. Thèse de doctorat, Archéologie et Environnement. Paris: Université de paris 1-Panthéon Sorbonne.

Borderie Q, Augry S, Cammas C. 2012. L'enregistrement des données géoarchéologiques en contexte urbain : quel système ? *Archeol E Calcolatori supp* 3: 199–213.

Borderie Q, Ball TB, Banerjea YR, Bizri M, Lejault C, Save S, *et al.* 2018. Early Middle Ages houses of Gien (France) from the inside: geoarchaeology and archaeobotany of 9th–11th c. floors. *Environ Archaeol* 25: 151–169. https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1534716.

Borderie Q, Devos Y, Nicosia C, Cammas C, Macphail RI. 2014a. Dark Earth in the geoarchaeological approach to urban contexts. In: Carcaud N, Arnaud-Fassetta G, eds. French Geoarchaeology in the 21th Century. Paris: CNRS, pp. 245–255.

Borderie Q, Fondrillon M, Nicosia C, Devos Y, Macphail RI. 2014b. Bilan et nouveaux éclairages sur les terres noires : des processus complexes de stratification aux modalités d'occupation des espaces urbains. In: Actes du 137e Congrès des Sociétés historiques et scientifiques, Université François Rabelais, Tours, 23–28 avril 2012. Paris: CTHS, pp. 235–250.

Borderie Q, Banerjea RY, Bonnet S, 2020 *et al.* Géoarchéologies des contextes urbains: mieux comprendre les modalités de l'artificialisation des géosystèmes. *Archimède* 7: 141–157.

Brogiolo GP, Cremaschi M, Gelichi S. 1988. Processi di stratificazione in centr urbani dell'Italia settentrionale. *Archeol Stratigr* 1: 23–30.

Brunella P, Dautremont N, Thion P, Wagner P-E. 1992. Metz, Document d'évaluation du patrimoine archéologique urbain. Tours: CNAU, AFAN.

Brunella P, Heckenbenner D, Thion P. 1996. Latrines et dépotoirs. In: Goedert V, Thomas V, Thion P, eds. Metz Médiéval : Mises Au Jour, Mise à Jour : Exposition de Metz, Musées de La Cour d'Or, 1996. Metz: Éditions Serpenoise, pp. 39–45.

Burnouf J. 2002. Les terres noires : un faux problème archéologique, un vrai problème scientifique. *Nouv Archéologie* 88: 50–51.

Cammas C. 2004. Les « terres noires » urbaines du Nord de la France : première typologie pédo-sédimentaire. In: Verslype L, Brulet R, eds. Dark Earth – Terres Noires, Actes de La Table Ronde de Louvain-la-Neuve. Louvain-la-Neuve: Université catholique de Louvain, Centre de recherches d'archéologie nationale, pp. 43–55.

Cammas C, Champagne F, David C, Desachy B, Guyard L. 1995. Le problème des « terres noires » sur les sites urbains tardo-antiques et médiévaux : réflexions et propositions méthodologiques à partir de l'exemple du Collège de France à Paris. *Nouv Archéologie* 61: 22–29.

Cammas C, Courty M-A., Fédoroff N. 1998. Dynamique de la biostructuration dans les sols cumuliques. Cas des « terres noires » de Paris. In: Proceeding of 16th World Congress of Soil Science. Montpellier: International Society of Soil Science. CD-ROM.

Cann T. 2012. Oulan Bator paysage urbain ou penser la ville au pays des nomades. In: Analyse Culturelle Des Paysages, Le Paysage Comme Enjeu, 135e Congrès du CTHS, Neuchâtel 2010, Actes du Congrès des Sociétés scientifiques et historiques. Paris: Éditions du CTHS.

Carver MOH. 1993. Arguments in Stone: Archaeological Research and the European Town in the First Millenium. Oxford: Oxbow Books.

Catalo J. 2002. La gestion des déchets domestiques dans la maison médiévale urbaine, réflexions à partir de données archéologiques du sud-ouest de la France. In: La Maison Au Moyen Âge dans Le Midi de la France, Actes des Journées d'études de Toulouse, 19–20 mai 2001, Mémoire de la Société archéologique du Midi de la France, hors-série. Toulouse: Société archéologique du Midi de la France, pp. 229–238.

Chombart de Lauwe L, Pribetich J. 2013. Mongolian (Urban) Homes. *Métropolitiques* 29.

Choplin A. 2012. Désoccidentaliser la pensée urbaine. *Métropolitiques* 2.

CIESIN. 2016. Global Urban Heat Island (UHI) Data Set, 2013. New York: Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

Clerbaux C, Edwards DP, Deeter M, Emmons L, Lamarque J-F, Xi Tie X, *et al.* 2008. Carbon monoxide pollution from cities and urban areas observed by the Terra/MOPITT mission. *Geophys Res Lett* 35: 1–6. https://doi.org/10.1029/2007GL032300.

Coussot C. 2008. Étude géoarchéologique du site C219. Chartres: Service archéologique de la ville de Chartres.

Cremaschi M. 1992. Caratteristiche geoarcheologiche della successione stratigrafica posta in luce nello scavo archeologico di piazzetta Castello. In: Gelichi S, ed. Ferrara Prima e Dopo Il Castello, Testimonianze Archeologiche per La Storia Della Città. Ferrara: Spazio Libri Editori, pp. 58–65.

Crabtree PJ, Reilly E, Wouters B, Devos Y, Bellens T, Schryvers A. 2017. Environmental Evidence from Early Urban Antwerp: New Data from Archaeology, Micromorphology, Macrofauna and Insect Remains. *Quat Int* 460: 108–123.

Croix S, Deckers P, Feveile C, Knudsen M, Skytte Quistgaard S, Sindbæk SM, *et al.* 2019. Single Context, Metacontext, and High Definition Archaeology: Integrating New Standards of Stratigraphic Excavation and Recording. *J Archaeol Method Theory* 26: 1591–1631.

Davidson DA, Wilson CA, Pollard T, Caims D, Cowie J, Blunn M. 2007. Soil Analysis Support System for Archaeology. Stirling: University of Stirling, Natural Environment Research Council.

Degraeve A, Demeter S, Devos Y, Modrie S, Van Bellingen S. 2010. Brussel voor 1200: een archeologische bijdrage. In: Dewilde M, Ervynck A, Becuwe F, eds. Celunae Recens Factae. Een Huldeboek Voor John De Meulemeester. Gent: Novi Monasterii, pp. 141–157.

Desachy B. 1999. Noyon. In: Desachy B, Guilhot J-O, eds. Archéologie des Villes, Démarches et Exemples En Picardie. Amiens: Revue archéologique de Picardie, pp. 171–177.

Desachy B. 1991a. Le site archéologique de Beauvais (Oise) éléments de présentation topographique et chronologique. *Rev Archéologique Picardie* 3/4: 11–43.

Desachy B. 1991b. Structures archéologiques de la place Clémenceau (Hôtel de ville de Beauvais, Oise). *Rev Archéologique Picardie* 3/4: 47–87.

Desachy B, Borderie Q. 2012. Les « Terres noires » urbaines du premier Moyen Âge : une remise en cause du regard archéologique sur la ville. In: Burnouf J, Nissen A, Arribet-Deroin D, *et al.*, eds. Manuel d'Archéologie médiévale et moderne. Paris: Armand Colin, pp. 199–203.

Devos Y, Nicosia C, Vrydaghs L, *et al.* 2017. An integrated study of Dark Earth from the alluvial valley of the Senne river (Brussels, Belgium). *Quat Int* 460: 175–197.

Devos Y, Vrydaghs L, Degraeve A, Fechner K. 2009. An archaeopedological and phytolitarian study of the "Dark Earth" on the site of Rue de Dinant (Brussels, Belgium). *Catena* 78: 217–284.

Devos Y, Vrydaghs L, Degraeve A, Modrie S. 2011. Unravelling urban stratigraphy. The study of Brussels' (Belgium) Dark Earth. An archaeopedological perpective. *Mediev Mod Matters* 2: 51–76.

Devos Y, Wouters B, Vrydaghs L, Tys D, Bellens T, Schryvers A. 2013. A soil micromorphological study on the origins of the early medieval trading centre of Antwerp (Belgium). *Quaternay Int* 315: 167–183.

Devos Y, Nicosia C, Wouters B. 2020. Urban Geoarchaeology in Belgium: Past, Present and Future. *Geoarchaeology Int* 35: 27–41.

Djindjian F. 1999. L'analyse spatiale de l'habitat : un état de l'art. *Archeol E Calcolatori* 10: 17–32.

Duren RM, Miller CE. 2012. Measuring the carbon emissions of megacities. *Nat Clim Change* 2: 560–562.

Flotté P. 2005. Carte archéologique de la Gaule, 52/2-Metz. Paris: Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.

Fondrillon M. 2009. À propos des recherches sur les terres noires urbaines : dépasser le concept d'attente. *Archéologie Médiév* 39: 1–16.

Gaillard M, Desachy B. 2006. Noyon. In: Gauthier N, Picard J-Ch, eds. La Topographie Chrétienne Des Cités de La Gaule Des Origines à La Fin Du VIIIe Siècle, 1975–2007. Centre de Recherches sur l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge, Université de Paris X Nanterre. Paris: De Boccard, pp. 77–84.

Galinié H. 2004. L'expression « terres noires », un concept d'attente. In: Verslype L, Brulet R, eds. Dark Earth – Terres Noires, Actes de La Table Ronde de Louvain-la-Neuve. Louvain-la-Neuve: Université catholique de Louvain, Centre de recherches d'archéologie nationale, pp. 1–11.

Galinié H. 2002. L'entre-deux : les terres noires des cités. In: Beaujard B, ed. La Naissance de La Ville Chrétienne. Mélanges en Hommage à Nancy Gauthier. Tours: Maison des Sciences de l'Homme, pp. 95–105.

Galinié H. 2007. Tours antique et médiéval : lieux de vie, temps de la ville, 40 ans d'archéologie urbaine, supplément à la Revue Archéologique du Centre de la France. Tours: FERACF.

Gama F. 2010. ZAC Amphithéâtre – Études archéo-environnementales et céramologiques. Metz: Inrap Grand-Est-Nord.

Gama F. 2003. Amphithéâtre – Zone 4, rue aux arènes dépose-minute, rapport de diagnostic archéologique préventif. Metz: SRA Lorraine.

Gauthier N. 1986. Topographie chrétienne de la Gaule des origines au milieu du VIIIe siècle, I, Province ecclésiastique de Trèves (Belgica Prima). Paris: De Boccard.

Gebhardt A. 1997. "Dark Earth": Some results in Rescue Archaeological Context in France. In: Macphail RI, Acott T, eds. Unpublished Bulletin 1 of the Archaeological Soil Micromorphology Working Group. Greenwich: University of Greenwich, pp. 45–47.

Gébus L. 1995. Metz : 4, rue de la Pierre Hardie. *Bilan Sci Région Lorraine* 1994: 74–76.

Gébus L, Beck G, Blanc A, *et al.* 1998. 4, rue Pierre Hardie, DFS de fouilles d'Archéologie préventive. Metz: SRA Lorraine.

Gébus L, Gama F. 2004. Le quartier de la Pierre-Hardie et l'îlot Turmel dans la ville de Metz en Lorraine : deux exemples d'études archéologiques des couches sombres attribuées aux IVe–XIIe siècles. In: Verslype L, Brulet R, eds. Dark Earth – Terres Noires, Actes de La Table Ronde de Louvain-la-Neuve. Louvain-la-Neuve: Université catholique de Louvain, Centre de recherches d'archéologie nationale, pp. 135–144.

Gerber F, Gerber C. 1998. Evreux, Square Georges Brassens, « La médiathèque », DFS de fouille préventive. Rouen: SRA Haute-Normandie.

Goldberg P, Macphail RI. 2006. Practical and Theoretical Geoarchaeology. Oxford: Blackwell Publishing.

Gutiérrez-Rodríguez M, Brassous L, Rodríguez Gutiérrez O, Peinado FJM, Orfila M, Goldberg P. 2020. Site formation processes and urban transformations during Late Antiquity from a high-resolution geoarchaeological perspective: Baelo Claudia, Spain. *Geoarchaeology Int J* 35: 258–286. https://doi.org/10.1002/gea.21769.

Guyard L. 2003. Le Collège de France : du quartier Gallo-romain au Quartier latin (Ier s. av. J.-C.-XIXe s.), Document d'Archéologie Française. Paris: Maison des Sciences de l'Homme.

Holliday VT, Gartner WG. 2007. Methods of soil P analysis in archaeology. *J Archaeol Sci* 34: 301–333.

Jouquand A-M., Champagne F, Rodier X, Husi P, Wittmann A. 1999. La fouille des « abords de la cathédrale » de Tours (Indre-et-Loire) : Antiquité – haut Moyen Âge. *Rev Archéologique Cent Fr* 38: 7–98.

Kaspzryk M, Labaune Y. 2003. La gestion des déchets à Augustodunum (Auntun, Saône-et-Loire) durant l'époque romaine : les données archéologiques. In: Ballet P, Cordier P, Dieudonné-Glad N, eds. La Ville et Ses Déchets Dans Le Monde Romain : Rebuts et Recyclages, Actes Du Colloque de Poitiers (19–21 décembre 2002), Archéologie et Histoire Romaine. Montagnac: Éditions Monique Mergoil, pp. 99–116.

Krupski M, Kabala C, Sady A, Gliński R, Wojcieszak J. 2017. Double-and triple-depth digging and Anthrosol formation in a medieval and modern-era city (Wrocław, SW Poland). Geoarchaeological research on past horticultural practices. *Catena* 153: 9–20. https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.01.028.

Lacroix M-C. 2004a. Les « terres noires » dans les fouilles préalables à la construction du Chevalet à Noyon. In: Verslype L, Brulet R, eds. Dark Earth – Terres Noires, Actes de La Table Ronde de Louvain-la-Neuve. Louvain-la-Neuve: Université catholique de Louvain, Centre de recherches d'archéologie nationale, pp. 121–128.

Lacroix M-C. 2004b.Noyon (Oise) : les abords de la cathédrale. Archéologie en Picardie 29. Amiens: SRA Picardie.

Laruaz J-M. 2019. Amboise – Réserve de la Butte de César, campagne 2018, rapport de fouille archéologique programmée. Tours: Conseil départemental d'Indre-et-Loire.

Laurent A, Fondrillon M. 2010. Mesurer la ville par l'évaluation et la caractérisation du sol urbain : l'exemple de Tours. *Rev Archéologique Cent Fr* 49: 307–343.

Le Maho J. 1994. Les fouilles de la cathédrale de Rouen de 1985 à 1993. Esquisse d'un premier bilan. *Archéologie Médiév* 24: 1–49.

Le Maho J. 1993. Fouilles de la cathédrale de Rouen, 1. d. la cour des Maçons, Bilan scientifique sommaire et problématiques de la recherche au 15 mai 1993. Rouen: SRA Haute-Normandie.

Lefèvre S. 2008. Beauvais/« La chapelle » (9427), BSR 2008. Amiens: SRA Picardie.

Leguay J-P. 2003. Le problème de l'évacuation des ordures au Moyen Âge : pérennité des usages antiques et nouveautés (Ve–XVe ap. J.-C.). In: Ballet P, Cordier P, Dieudonné-Glad N, eds. La Ville et Ses Déchets Dans Le Monde Romain : Rebuts et Recyclages, Actes Du Colloque de Poitiers, 19–21 septembre 2002. Montauban: Monique Mergoil, pp. 303–311.

Leman P. 1982. Un quartier romain de Beauvais (Oise). *Gallia* 40: 195–217.

Liard M. 2009. Étude géoarchéologique : résultats des analyses chimiques (mesure de C, N, P et du pH). In: Lukas D, ed. Le Bois de Parville, Rapport Final d'Opération. Rouen: SRA Haute-Normandie, pp. 229–254.

Macphail RI. 2010. Dark earth and insights into changing land use of urban areas. In: Sami D, Speed G, eds. Debating Urbanism, Within and Beyond the Walls A.D. 300–700, Leicester Archaeology Monograph. Leicester: University of Leicester, pp. 145–166.

Macphail RI. 2003. Soil microstratigraphy: a micromorphological and chemical approach. In: Cowan C, ed. Urban Development in North-West Roman Southwark: Excavations 1974–90, MoLAS Monograph Series. London: Museum of London Archaeology Service, pp. 89–105.

Macphail RI. 1994. The Re-working of urban stratigraphy by human and natural processes. In: Hall AR, Kenward HK, eds. Urban-Rural Connexion: Perspectives from Environmental Archaeology, Symposia of the Association for Environmental Archaeology: 12. Oxford: Oxbow Books, pp. 13–44.

Macphail RI. 1981. Soil and botanical studies of the "Dark Earth". In: Jones M, Dimbleby GW, eds. The Environment of Man: The Iron Age to the Anglo-Saxon Period. BAR British Series 87. Oxford: British Archaeological Report, pp. 309–331.

Macphail RI, Courty M-A. 1985. Interpretation and significance of urban deposits. In: Edgren T, Junger H, eds. Proceedings 3rd Nordic Conference on the Application of Scientific Methods to Archaeology. Helsinki: ISKOS, pp. 71–84.

Macphail RI, Crowther J, Cruise GM. 2008. Microstratigraphy, soil micromorphology, chemistery and pollen. In: Bateman N, Cowan C, Wroe-Brown R, eds. London's Roman Amphitheatre: Guildhall Yard. MoLAS Monograph 35. London: Museum of London Aarchaeology Service, pp. 160–164.

Macphail RI, Cruise G, Linderholm J. 2000. Integrating Soil Micromorphology and Rapid Chemical Survey Methods: new developments in reconstructing past rural settlement and landscape

organisation. In: Roskams S, ed. Interpreting Stratigraphy: Site Evaluation, Recording Procedures and Stratigraphic Analysis, Papers Presented to the Interpreting Stratigraphy Conferences 1993–1997. Oxford: Archaeopress, pp. 71–80.

Macphail RI, Galinié H, Verhaeghe F. 2003. A future for Dark Earth? *Antiquity* 77: 349–358.

Magnus B. 1999. Birka. Riksantikvariatsämbetet.

Mahéo N. 1984. Amiens, rue Jules Lardière, rapport de Sauvetage programmé. Amiens: SRA Picardie.

Mikkelsen JH. 1997. Laboratory method for determination of organic, inorganic and total phosphate.

Moustier P, Pages J. 1997. Le péri-urbain en Afrique : une agriculture en marge ? *Econ Rurale* 241: 48–55.

Nicosia C. 2018. Geoarcheologia delle Stratificazioni Urbane Post-Classiche. Roma: Quasar Edizioni.

Nicosia C. 2006. Archaeopedological study of medieval "Dark Earth" from Firenze, Italy. MSc Thesis. Gent: Gent University.

Nicosia C, Devos Y, Borderie Q. 2013. The contribution of geosciences to the study of European Dark Earths: a review. *Post Class Archaeol* 3: 145–170.

Nicosia C, Devos Y, Macphail RI. 2017. European Dark Earth. In: Nicosia C, Stoops G, eds. Archaeological Soil and Sediment Micromorphology. Oxford: Wiley Blackwell, pp. 331–343.

Nicosia C, Langohr R, Mees F, Arnoldus-Huyzendveld A, Bruttini J, Cantini F. 2012. Medieval Dark Earth in an active alluvial setting from the Uffizi Gallery complex in Florence. *Geoarchaeology* 27: 105–122.

Nin N, Leguilloux M. 2003. La gestion des déchets à Aix-en-Provence dans l'Antiquité. In: Ballet P, Cordier P, Dieudonné-Glad N, eds. La Ville et Ses Déchets Dans Le Monde Romain : Rebuts et Recyclages, Actes Du Colloque de Poitiers (19–21 décembre 2002), Archéologie et Histoire Romaine. Montagnac: Éditions Monique Mergoil, pp. 133–164.

Pietri L, Mériaux C, Fémolant J-M. 2006. Beauvais. In: La Topographie Chrétienne Des Cités de La Gaule Des Origines à La Fin Du VIIIe Siècle. Centre de Recherches sur l'Antiquité tardive et le haut Moyen Âge. Paris: Université de Paris X Nanterre, pp. 129–141.

Roskams S. 1978. The Milk Street Excavation. *Lond Archaeol* 3: 199–205.

Samson R. 1994. Populous Dark-Age towns: the Finleyesque approach. *J Eur Archaeol* 2: 97–129.

Scheldon HL. 1978. Southwark Excavations, 1972-1974, Joint publication, Southwark and Lambeth Archaeological Excavation Committee. London: London and Middlesex Archaeology Society, 2 vol.

Schütz G, Sauvin Ch-E, Borderie Q, Piolot A, Thiesson J. 2014. Bayeux (Calvados) de l'Antiquité au haut Moyen Âge : approche interdisciplinaire des opérations récentes en centre-ville. In: Actes du 137e Congrès Des Sociétés Historiques et Scientifiques, Université François Rabelais, Tours, 23–28 avril 2012. Paris: CTHS, pp. 93–107.

Talon M. 1987. Noyon (Oise). Îlot des Deux-Bornes, Îlot Paul Bert. *Archéologie Médiév* 27: 175–176.

Terres noires. 2000. Terres noires 1, Documents Sciences de la Ville, n° 6 (juin 2000). Tours: Maison des Sciences de la Ville, de l'Urbanisme et des Paysages.

Toutain F, Doirisse M, Leyval C. 2000. Résultats préliminaires concernant les « terres noires » de Château-Thierry : analyses granulométriques et observations micromorphologiques. In: Terres Noires 1, Documents Sciences de La Ville, n° 6 (juin 2000). Tours: Maison des Sciences de la Ville, de l'Urbanisme et des Paysages, pp. 95–98.

Wech P. 2011. Evreux (Eure), "15–17 rue Saint-Louis", rapport de fin d'opération de diagnostic archéologique. Evreux: Conseil général de l'Eure.

Wouters B. 2016. Geoarchaeological and micromorphological approaches to the formation and biographies of Early Medieval towns in Northwest Europe. Thèse de doctorat. Brussel: Vrije Universiteit Brussel/University of Aberdeen.

Wouters B. 2018. Geoarchaeology and micromorphology at Ribe: A Northern Emporium in high definition. In: Raja R, Sindbæk S, eds. Urban Network Evolutions: Towards a high-definition archaeology. Aarhus: Aarhus University Press, pp. 175–182.

Yule B. 1990. The "Dark Earth" and late Roman London. *Antiquity* 64: 620–628.

Zagermann M. 2019. Schwarze Erde/Dark Earth. *Hist Lex Bayerns*. Available from https://www.historishes-lexikon-bayerns.de/Lexikon/Schwarze_Erde_/_Dark_Earth (last consult: 2021/03/09).

**Citation de l'article** : Borderie Q, Wouters B, Banerjea R, Nicosia C, Schutz G, Gama F, Augry S, Wech P. 2021. Il était une fois des sociétés qui stockaient du carbone en ville : processus de formation et implications sociétales des terres noires urbaines de l'Europe médiévale (Ve–XIe s.). *BSGF - Earth Sciences Bulletin* 192: 23.