

# Caractérisation physico-chimique et recherche des provenances des hématites oolithiques des sites du Néolithique ancien de Hesbaye (Province de Liège, Belgique) et des sites néolithiques des sources de la Dendre (Province du Hainaut, Belgique)

Éric GOEMAERE, Hélène SALOMON, Guirec QUERRÉ, François MATHIS, Roland DREESEN, Caroline HAMON, Claude CONSTANTIN, Dominique BOSQUET, Joost WIJNEN & Ivan JADIN

---

## Abstract

*“Chemical and physical characterization and provenance study of oolitic hematites found both in early Neolithic sites of Hesbaye (Province of Liège, Belgium) and Neolithic sites from the Dendre River springs (Hainaut province, Belgium)”.*

Oolitic ironstones (OIS) are red raw materials producing a strong red pigment that are frequently encountered on LBK (Linearbandkeramic culture or Linienbandkeramische Kultur) sites from the Hesbaye (Liège province, Belgium), the Maastricht region (Limburg province, The Netherlands) and the Dendre springs area (Hainaut province, Belgium). Macroscopical, mesoscopical and microscopical investigations show a genetic relationship between all of the studied samples. The latter consist mainly of Clinton-type OIS with fine-grained hematitic ooids and a red clayey-sandy matrix, rarely enclosing carbonates within the cement or in the fossils. The observed variation inside the geological outcrops results from differences in the proportions of the detrital matrix and the carbonate content in comparison with the richness in hematitic ooids. The geochemical analyses carried out with HH-XRF and PIXE, also show strong analogies between all of the studied archaeological objects discovered in both of the studied areas. The diffractometric analysis resulted in poor information except for the mineralogical composition of the major phases. We do not observe differences between the pioneer sites and the older occupation sites. Furthermore, no significant differences were observed between the OIS from one village to another. A comparison of geological samples from Belgium and Germany allowed to link archaeological samples to Lower Famennian OIS of the southern border of the Namur Synclinorium. The latter spots are most probably located between the towns of Loyable and Amay, along the Meuse river valley. We may therefore conclude that the early Neolithic people looked at the same spots (in a geographic area of about three kilometers along the Meuse river axis). Moreover, they have selected their primary raw materials using the richness in iron ooids and the scarcity in quartz and calcite as main selection criteria. This study is still in progress, now taking into account other types of (non-oolitic) red rocks from LBK sites in the Hesbaye area, The Netherlands and Lorraine, in order to trace the geographical and geological provenances of the raw materials. So far, we can already suggest that the sources are local to regional for the red sandstones and of German origin for the non-oolitic hematitic ores.

**Keywords:** OIS, Clinton-type oolitic ironstones, macroscopic description, X-ray Diffraction, PIXE, X-Ray fluorescence, Linear Pottery Culture, LBK, Early Neolithic, Hesbaye, Dendre springs, Belgium.

**Mots-clés :** OIS, hématite oolithique de type Clinton, description macroscopique, diffraction des rayons X, PIXE, fluorescence X, Rubané, LBK, Néolithique ancien, Hesbaye, sources de la Dendre, Belgique.

## 1. INTRODUCTION

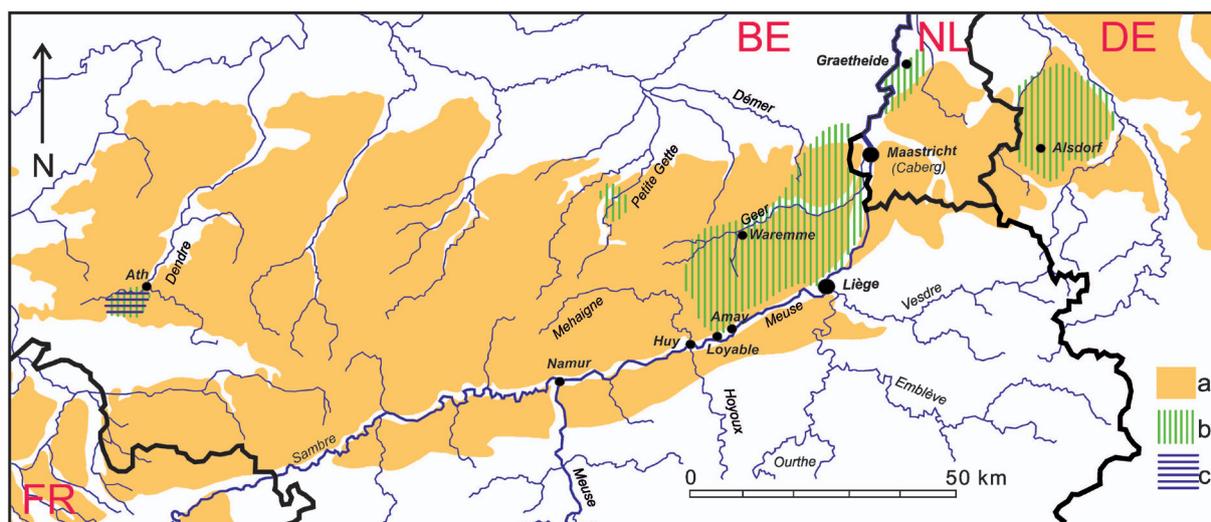
Les matériaux rouges retrouvés en contexte archéologique belge sont constitués majoritairement d'hématite oolithique (OIS), mais aussi de grès et de siltites rouges et, plus rarement, de fragments de minerai hématitique non oolithique.

Tous ces matériaux sont étudiés distinctement car il apparaît qu'ils ne sont pas liés aux mêmes contextes géologiques et proviennent, de ce fait, de lieux géographiques différents. Le travail présenté ici ne concerne que les OIS, tandis que se poursuivent en équipe les recherches sur les autres types de matériaux.

Si les OIS sont présentes dans tous les sites rubanés fouillés en Hesbaye liégeoise (Bosquet *et al.*, 2016 : ce volume : descriptif des sites et localisation géographique), des sites rubanés et blicquiens des sources de la Dendre (Bosquet *et al.*, 2016 : ce volume : descriptif des sites et localisation géographique) et des sites rubanés de Graetheide et Caberg (Province du Limburg néerlandais) près de Maastricht (Wijnen, 2013, 2014 - qui donne un descriptif des sites, une localisation géographique, des résultats analytiques et des interprétations), on retrouve cependant de nombreuses pièces en OIS sur des sites paléolithiques comme la grotte de Spy (Goemaere *et al.*, 2013), la grotte de Goyet (recherches en cours) ou la grotte de Walou à Trooz (Draily, 2011) et dans le Mésolithique du Trou Al'Wesse à Modave (fouilles en cours menées par R. Miller, ULg). La carte (Fig. 1) localise les aires géographiques

des sites du Néolithique ancien concernés par cette étude. La comparaison entre les matériaux rouges retrouvés en contexte paléolithique sera publiée ultérieurement.

Le présent article vise trois objectifs dont le premier concerne la caractérisation physico-chimique (minéralogique et géochimique) des OIS : a) mises au jour en contexte archéologique et découvertes sur les sites rubanés de Hesbaye liégeoise et les sites rubanés et blicquiens des sources de la Dendre et b) collectées sur des contextes géologiques belges. Le deuxième objectif est d'apprécier, à partir des spécificités des hématites oolithiques mises au jour sur les sites rubanés, i) les différences ou ressemblances entre les assemblages de Hesbaye et des sources de la Dendre, deux régions géographiquement séparées de plus de 120 km et situées dans deux bas-



**Fig. 1** – Localisation géographique des principaux sites cités dans l'article. Répartition des aires d'habitat du Néolithique ancien en Moyenne Belgique : a, loess ; b, aire rubanée ; c, aire blicquienne. Les hachures vertes correspondent aux aires de peuplement du Rubané du Nord-Ouest ; les hachures croisées à la région des sources de la Dendre où se rencontrent villages rubanés et blicquiens (couleur bleue). La trame orangée situe la bande limoneuse de Moyenne Belgique, sur laquelle les habitats du Néolithique ancien de Belgique se sont installés, ainsi que la continuation de celle-ci en Rhénanie et les placages loessiques du Bassin parisien. Figure modifiée d'après Jadin (2003) et Hauzeur & Jadin (2011). Dessin original : Françoise Laurent ; infographie : Aude Van Driessche et Ivan Jadin.

**Fig. 1** – Geographical location of the main places studied in this paper. Distribution of the settlements areas of the Early Neolithic on Middle Belgium: a: loess; b, LBK area; c, Blicquian area. The green hatchings correspond to the areas of Northwest LBK populating; Crossed hatchings drawn in the Dendre springs area correspond to places where LBK and Blicquian villages were encountered (blue color). The orange-colored surfaces represent the limon band of Middle Belgium, on which Early Neolithic villages of Belgium settled down, as well as the continuation of this band in Rhineland and loess veneers of the Paris Basin. Figure modified according to Jadin (2003) and Hauzeur & Jadin (2011). Original drawing by Françoise Laurent; computer graphics by Aude Van Driessche and Ivan Jadin.

sins versants différents (respectivement le bassin hydrographique de la Meuse et celui de l'Escaut), ii) de décrire les modalités d'approvisionnement et les choix opérés lors de la sélection des matières premières en comparant les collections des sites hesbignons entre eux, iii) de reconnaître et décrire une éventuelle singularité de la phase

pionnière du Rubané de Hesbaye (Bosquet & Golitko, 2012). Enfin, de manière plus large, le dernier objectif vise à tracer les sources géologiques et géographiques des matières premières afin d'en tirer des enseignements en terme de circulation des matières premières.

Commune	Site	Année de fouille	Datation	Structure	Inventaire	Matière première	Poids (gr)	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Épaisseur (cm)	État	Morphologie	Techno /Tracéo
Blicquy	la Petite Rosière	1981	Rubané	6	1833	OIS	7	3	2,2	0,6	fort prob. taphonomique	trapèze	peu de plages émoussées, uniquement sur 2 faces /
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	29	4122	OIS	4					fragments	/ poli aspérités
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	29	3121	OIS	3					fragments	poli aspérités
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	29	4220	OIS	2					fragments	/ poli aspérités
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	29	818	OIS	2					fragments	/ poli aspérités
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	29	4219	OIS	2					fragments	/ poli aspérités
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	27	3775	OIS	28	3,5	3	1,6		trapèze	/ 1 face avec aspérités émoussées et 1 tranche curviligne avec facettes et stries longitudinales
Blicquy	la Petite Rosière	1982	Rubané	27	3337	OIS	25	3	3	1,5		rectangle	/ émoussé fluide sur face sup
Blicquy	la Petite Rosière	1981	Rubané	7	610	OIS	50	5,5	4,5	1,5	altération	trapèze	
Irchonwelz	Bonne Fortune	1983	Blicquien	21	11517	Peu oolithique (argileux)	6	3,5	2	1		fragment	/ émoussé couvrant et irrégulier
Irchonwelz	Bonne Fortune	1983	Blicquien	21	14083	Peu oolithique (argileux)	6	3	1	1,5		fragment	/ émoussé couvrant et irrégulier, associé à stries longitudinales
Irchonwelz	Bonne Fortune	1983	Blicquien	21	11738	oolithique	12	3,4	2	1		fragment	/ face sup. émoussée ; tranche avec plages biseautées polies avec stries longitudinales
Aubechies	Coron Maton	2002	Rubané	162	6782	oolithique	12	3,8	2,4	0,6		éclat brut	/
Aubechies	Coron Maton	2002	Rubané	162	6794	oolithique	10	2,8	1,8	0,8		triangle, section semi-circulaire	1 face et 2 tranches émoussées avec stries longitudinales /
Aubechies	Coron Maton	2002	Rubané	140	6118	oolithique	12	6,4	3	1,5	ok	ovoïde	1 face sup. irr. émoussée / émoussé lâche, sur aspérités
Aubechies	Coron Maton	2002	Rubané	140	6120	oolithique	57	3,5	1,8	1,8	ok	rectangle section triangulaire	face sup. et plage biseautée associée avec émoussé couvrant et stries profondes couvrantes /

**Tab. 1** – Échantillons archéologiques d'OIS des sources de la Dendre étudiés par Hamon *et al.*, 2016, ce volume et Constantin, 2010a-b-c. Les échantillons du site « Le Pilori » à Ormeignies ne sont pas repris dans ce tableau.

**Tab. 1** – Archaeological samples of OIS from the Dendre springs studied by Hamon *et al.*, 2016, this volume and Constantin, 2010a-b-c. Samples from “Le Pilori” (Ormeignies) are not listed in this table.

L'article décrit succinctement les OIS archéologiques, présente les résultats des analyses minéralogiques faites par diffraction des rayons X sur poudres de roche totale ainsi que ceux provenant des analyses géochimiques.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Échantillonnage

Les échantillons archéologiques de Hes-

baye liégeoise (Province de Liège, Belgique) sont issus de fouilles menées par l'Institut Royal des Sciences naturelles de Belgique et le Service Public de Wallonie. Ils concernent les sites de Darion « Colia », Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l'Cortri », Hollogne « Douze Bonniers », Oleye « Al Zèpe », Remicourt « En Bia Flo » II, Vieux Waleffe « Framaset », Waremme « Vinàve » et Waremme « Longchamps ». Ils ont été décrits par Bosquet *et al.* (ce travail – voir le tableau récapitulatif dressé par ces auteurs). Les échantillons provenant des sources de la Dendre (Province de Hainaut, Belgique) sont

<i>Échantillons géologiques belges</i>
EG-02 : Suarlée ; Les Isnes - Famennien inférieur - Flanc nord du Synclinorium de Namur (= Parautochtone de Namur) - référence SGB : 143E314
EG-03 : Ville-en-Waret (Andenne) – Ancienne mine/chapelle Sainte Barbe - Famennien inférieur - Flanc nord du Synclinorium de Namur
EG-04 : Gare de Huy Nord – Famennien inférieur – Flanc sud du Synclinorium de Namur- référence SGB 146W11-12
EG-05 : Ville-en-Waret (Andenne) – Faciès à grosses oolithes et niveau argileux (Famennien inférieur) - Flanc nord du Synclinorium de Namur
EG-06 : Pont-de-Bonne (Modave) - Flanc nord du Synclinorium de Dinant
EG-07 : Ville-en-Waret (Andenne) - Terril d'une exploitation minière - Flanc nord du Synclinorium de Namur - référence SGB : 144E275
EG-08 : Mazy (vallée de l'Orneau, Gembloux) - Lits d'OIS intercalés dans du calcaire siliceux – Flanc nord du Synclinorium de Namur - référence SGB : 143E-49
EG-09 : Rosières (Esneux) – Collection Dumont n°2177 - Flanc nord du Synclinorium de Dinant
EG-10 : Site entre Loyable et Statte - Famennien inférieur - Flanc sud du Synclinorium de Namur - Collection Dumont F1415
EG-11 : Nessonvaux (calcaire à grosses oolithes) - Famennien inférieur - Flanc sud du Synclinorium de la Vesdre
EG-13 : Huy (gare de Huy Nord) - OIS fine, couche V – Flanc sud du Synclinorium de Namur
EG-14 : Huy (gare de Huy Nord) – OIS moyenne, couche VII – Flanc sud du Synclinorium de Namur
EG-16 : Esneux (Carrière d'Esneux) – Âge Frasnien - référence SGB : 147E530 – Flanc nord du Synclinorium de Dinant
EG-18 : Carrière Debras à Arbre (Profondeville) – Flanc nord du Synclinorium de Dinant - référence SGB : 166W699
EG-19 : Heid de Fer, La Reid, Theux - Fenêtre de Theux (voir article Mottequin & Marion, ce volume)
EG-20 : Gelbressée (Ferme Pierre Tome) – Flanc nord du Synclinorium de Namur
EG-21 : Amay (rue Vigneux) – Famennien inférieur - Flanc sud du Synclinorium de Namur
EG-22 : Faux-les-Tombes (vallée du Samson) – Famennien inférieur - Flanc nord du Synclinorium de Dinant
EG 30 : Nord de la gare abandonnée de Barse, coupe de la vallée du Hoyoux – Famennien inférieur – Flanc nord du Synclinorium de Dinant
EG-31 : Site de « La limonaderie », Pont-de-Bonne (Modave) – Famennien inférieur - Flanc nord du Synclinorium de Dinant
VE-1 : Site de Vedrin (Namur) - Famennien inférieur – Flanc sud du Synclinorium de Namur

<i>Échantillons miniers historiques étrangers</i>
SK-1 : Stadt Kyll (Eifel, Allemagne) – Emsien – OIS rouge foncé carbonatée fossilifère – Massif schisteux rhénan
1-ESJ : Ejpovice (République tchèque) – Ordovicien – OIS fine rouge foncée très pure
Min-1 : (Grand-Duché de Luxembourg) Bajocien, Jurassique – OIS ocre brun très riche en ooïdes

**Tab. 2** – Échantillons géologiques de référence de Belgique, d'Allemagne et de Tchéquie et issus des collections de l'IRSNB (collection historique ou issus d'échantillons prélevés sur le terrain).

**Tab. 2** – *Geological samples selected from the RBINS's collections (historical collections or samples collected on the field), from Belgium, Germany and Czech republic.*

décrits par Caroline Hamon et Claude Constantin (Tab. 1) (Constantin *et al.*, 2010a, 2010b, 2010c ; Bosquet *et al.*, 2016 : ce volume). Ils proviennent des sites de « Coron Maton » à Aubechies, de « La Petite Rosière » à Blicquy et de « La Bonne Fortune » à Irchonwelz. Ceux-ci sont complétés par le site d'Ormeignies « Le Pilon » (Livingstone Smith, dir., 2012). Les OIS trouvées à Graetheide et Ca-berg (Province du Limburg néerlandais) près de Maastricht sont décrites par Wijnen (2013, 2014).

L'analyse pétrographique et la géologie des minerais de fer oolithiques ont été décrites respectivement par Dreesen *et al.* (2016 : ce volume) et Goemaere *et al.* (2016 : ce volume : contexte géologique).

Les échantillons géologiques belges de référence sont repris au tableau 2 et composent le

corpus d'étude pour comparaison avec les échantillons archéologiques mais aussi avec les échantillons géologiques allemands (Tab. 3) du Massif schisteux rhénan (voir article Goemaere *et al.*, 2016 : ce volume et Dreesen *et al.*, 2016 : ce volume). De nombreux échantillons archéologiques et géologiques ont fait l'objet d'une description macroscopique, mésoscopique mais aussi d'observations microscopiques en lumière transmise sur lames minces. Les échantillons géologiques ont été récoltés sur le terrain dans les coupes disponibles des synclinoria paléozoïques de Namur (flancs nord et sud), de Dinant (flanc nord), de la Vesdre et de la fenêtre de Theux, ou proviennent des collections géologiques de références conservées à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique (IRSNB). Notons que les OIS ont constitué des minerais de fer exploités pour la production de fonte, de fer et d'acier depuis les Âges des

Référ.	Localisation	LM	Couche	Particularité macroscopique des OIS
SCH-01	SW de Schmidtheim	X	Heisdorf	Calcaire crinoïdique avec allochèmes ferrugineux
HAM-01	Hammermühle/Hillesheim	X	Heisdorf	Calcaire crinoïdique grossier avec oncolithes et intraclastes ferruginisés
HAM-02	Hammermühle/Hillesheim	X	Heisdorf	Idem Ham-01 mais faciès plus sableux
HAM-03	Hammermühle/Hillesheim	X	Heisdorf	Ooïdes aplaties et pseudo-ooïdes à apparence métallique
STA-01	Stahlhof/Blankenheim	X	Heisdorf	Concentrations inégales d'hématite & allochèmes chamositiques
OBA-1	Oberahreck	X	Heisdorf	Niveau d'OIS de couleur rouge foncé
OBA-2	Oberahreck	X	Heisdorf	OIS fossilifère compact à lithoclastes (grès)
OBA-3	Oberahreck	X	Heisdorf	Lit calcaire riche en brachiopodes
OBA-5	Oberahreck	X	Heisdorf	OIS
OBA-6a	Oberahreck	X	Lauch	Grès calcaire à ooïdes ferrugineux dispersés
OBA-6b	Oberahreck	X	Lauch	Niveau d'OIS grossière
OBA-7	Oberahreck	X	Lauch	OIS à grains fins, fossilifère et hétérogène, avec lithoclastes
OBA-8	Oberahreck	-	Lauch	Faciès identique à brachiopodes
OBA-9	Oberahreck	X	Lauch	OIS à grains fins
ROH-01	Rohr	X	Heisdorf/Lauch	Calcaire crinoïdique à allochèmes ferrugineux et grands lithoclastes
REE-01	Reetz	-	Lauch	OIS impure

**Tab. 3** – Échantillons géologiques de référence (Emsien-Eifelien, Dévonien, Paléozoïque) prélevés sur le terrain en 2012 en Eifel (Allemagne) par Goemaere, Dreesen, Eschgi (ancien collaborateur du Prof. W. Kasig, RWTH-Aachen et responsable du Geozentrum Daun, Eifel, Allemagne) et Katsch (ancien collaborateur du Prof. W. Kasig, RWTH-Aachen, DE). LM : lames minces.

**Tab. 3** – *Geological samples (Emsian-Eifelian, Devonian, Paleozoic) collected in the field (Eifel, Germany) in 2012 by Goemaere, Dreesen, Eschgi (former collaborator of Prof. W. Kasig, RWTH-Aachen, formerly in charge of the Geozentrum Daun, Eifel, Germany) and Katsch (former collaborator of Prof. W. Kasig, RWTH-Aachen, Germany). LM: thin slides.*

Métaux. L'exploitation industrielle intense tout au long du 19<sup>ème</sup> siècle jusqu'au milieu du 20<sup>ème</sup> siècle (lire Denayer, 2016 : volume 2) a considérablement perturbé les affleurements, jusqu'à les faire disparaître, rendant les prélèvements actuels difficiles. Il persiste des terrils, vestiges des exploitations minières arrêtées au plus tard dans les années 1950, qui révèlent par conséquent un mélange d'OIS qui n'étaient pas accessibles sans creusement et dont la teneur en fer est moins élevée (déchets d'extraction) que ce qui était disponible durant la Préhistoire. Ces références géologiques permettent néanmoins d'apprécier la variabilité des OIS dans chaque secteur, mais aucune trace d'exploitation préhistorique préservée n'est par conséquent à espérer.

## 2.2. Les méthodes d'analyse

Les méthodes d'analyses utilisées pour cette étude sont identiques à celles décrites dans ce volume par Goemaere et co-auteurs sur la caractérisation physico-chimique et la recherche des provenances des OIS du Néolithique ancien et du Mésolithique de Basse-Normandie. Les lecteurs voudront bien s'y référer. Ces méthodes concernent la fabrication de lames minces, l'analyse par diffractométrie de rayons X (DRX) de poudre sur roches totales et l'analyse chimique au moyen d'un appareil portable de fluorescence X (HH-XRF) et de deux accélérateurs de particules (PIXE). Les lames minces sont versées dans les collections de l'IRSNB accompagnées généralement par un fragment de l'échantillon initial. Les échantillons archéologiques qui ont été sélectionnés pour la confection de lames minces étaient majoritairement des blocs bruts, ne présentant pas de traces d'usure, afin de préserver les échantillons travaillés (facettés ou porteurs de stries d'usage). Les analyses non-destructives ont été opérées tant sur des blocs bruts que sur des échantillons portant des traces d'usure telles que des facettes. La sélection a été opérée de manière à couvrir la variabilité macroscopique mais aussi chronologique (sites pionniers et phases d'habitat ultérieures).

## 3. RÉSULTATS

### 3.1. Caractéristiques macroscopiques et mésoscopiques des OIS

Les OIS archéologiques appartiennent

toutes au groupe « Clinton-type OIS ». La concentration en ooïdes est généralement très élevée (>80 %) pour la majorité des pièces examinées, ce qui, par comparaison avec les matériaux encore disponibles sur les sites géologiques, nettement moins riches en oolithes, incite à conclure à un tri sélectif des matières premières par les préhistoriques. La part de la matrice argilo-siliceuse varie de très faible (forte concentration des ooïdes avec contacts entre elles) à modérée (présence d'une matrice rouge isolant les ooïdes les unes des autres). Cette matrice est de couleur rouge identique à celles des ooïdes. Elles sont de taille infra- à plurimillimétrique et en forme d'ellipsoïdes aplatis. Le classement granulométrique est bon à très bon (isométrie) et on observe dans les artefacts les plus gros une orientation statistique des axes des ellipses et une stratification subparallèle. Les fragments de fossiles (brachiopodes, bivalves ou crinoïdes) non (ou peu) roulés et non ferruginisés sont très rarement observés. Les intraclastes et les extraclastes sont rarement présents et toujours de petite taille (infra-millimétrique à millimétrique). Aucune pièce ne présente un ciment carbonaté accompagnant des ooïdes calcitiques partiellement ferruginisées et disposées en agrégats lâches. Les échantillons archéologiques de Hesbaye et de la Dendre présentent des caractéristiques communes ne permettant pas de les distinguer.

Quelques artefacts montrent soit une concentration moindre en ooïdes (e.g. Irchonwelz), soit un lit d'épaisseur millimétrique argilo-siliceux sans ooïde et de teinte rouge identique aux lits riches en ooïdes. Des paillettes inframillimétriques de micas muscovite apparaissent dans la matrice argilo-siliceuse. Les grains de quartz de la gamme granulométrique des sables (63 µm à 2 mm) n'ont pas été observés sous la loupe binoculaire.

La large majorité des pièces archéologiques non travaillées apparaissent fraîches. Les matériaux altérés et limonitisés se reconnaissant à des teintes jaune-orange sont absents des corpus d'étude. On peut quelquefois observer des surfaces interprétées comme des plans de diaclases transversales, sub-perpendiculaires au plan de stratification matérialisé par les alignements des grands axes des ooïdes. Ces surfaces de diaclases portent des traces de goethite de couleur brune. De manière exceptionnelle, de la goethite botryoïdale a été observée et associée à une

croûte d'oxydation, probablement liée à la circulation d'eaux suivant des plans privilégiés.

L'observation de toutes les pièces archéologiques permet de conclure à un continuum lithologique entre des échantillons riches en ooïdes et d'autres plus pauvres en ooïdes. Le seul critère macro-mésoscopique qui différencie un artefact d'un autre artefact est donc l'abondance de la matrice, ce qui devrait se traduire dans les diagrammes d'analyses chimiques construits sur les éléments chimiques liés au fer par rapport à ceux liés aux minéraux détritiques (quartz – illites/micas – chlorites).

Notons encore que ces OIS archéologiques sont similaires en tous points à celles découvertes dans les grottes de Spy (Jemeppe-sur-Sambre, vallée de l'Orneau affluent, rive gauche de la Meuse, partie centrale du Synclinorium de Namur) et de Walou (Trooz, Synclinorium de Verviers) et diffèrent fortement de celles exhumées dans la grotte de Goyet (Troisième Caverne ou Abri supérieur, Mozet, commune de Gesves, ruisseau sur le Struviaux, affluent du Samson, rive droite de la Meuse – flanc nord du Synclinorium de Dinant).

### 3.2. Observations microscopiques des OIS archéologiques

Un descriptif détaillé ne sera donc pas donné ici car les faciès pétrographiques des OIS (géologiques et archéologiques) ont été décrits par Dreesen *et al.* (2016 : ce volume). Synthétiquement, toutes les OIS archéologiques belges examinées sont des hématites oolithiques de type « Clinton ». Elles renferment des ooïdes zonées, hématitiques, à section elliptique et présentant généralement un nucléus constitué de grains de quartz ou de chlorite (ferrifère) secondaire. Les ooïdes sont soit jointives, soit séparées les unes des autres en fonction de l'abondance relative des ooïdes par rapport à la matrice. Cette dernière est constituée de grains de quartz détritiques, parfois sous forme d'échardes (verre volcanique), un peu d'argile fine teintée par des oxydes de fer camouflant la texture, de rares paillettes de micas inframillimétriques, de rares minéraux denses (zircon surtout). Certaines ooïdes sont poinçonnées par compaction différentielle. Quelques échantillons présentent un ciment carbonaté, généralement dolomitique (dolomite ferrifère) caractérisé par des cristaux losangiques zonés. Les

fragments de fossiles sont rares, soit calcitiques, soit phosphatés. Les OIS archéologiques belges présentent une grande homogénéité des faciès pétrographiques et, comme déjà reconnu par les observations directes, aucune distinction ne peut être faite entre les régions hesbignonne et des sources de la Dendre.

La comparaison macro- et mésoscopique confirmée par l'analyse pétrographique des différents niveaux d'OIS belges connus et échantillonnés permet d'exclure les OIS du Dévonien inférieur, les OIS du Frasnien, les OIS de Lorraine (zone dite des « trois frontières » Belgique-Luxembourg-France) et les minerais de fer des prés (Lorraine). Seules restent les OIS dévoniennes du Famennien inférieur.

### 3.3. Apports des examens macro-, méso- et microscopiques

La comparaison des différents sites archéologiques entre eux en fonction de leur localisation géographique indique que les différences que l'on peut observer d'un site à l'autre sont négligeables et ne sont pas significatives de différences pouvant être expliquées par des provenances différentes. Il n'est pas non plus possible de distinguer les OIS des phases pionnières de celles des phases ultérieures. L'ensemble des caractéristiques observées plaident pour une source géologique unique de la matière première pour l'ensemble des sites rubanés belges, située à une distance comprise entre 5 et 20 km des sites archéologiques, dans une aire géographique qui s'étend le long de la Meuse, majoritairement sur sa rive gauche. De même, aucune hématite oolithique mise au jour sur les sites belges ne provient des ensembles géologiques de Basse-Normandie (FR), de Lorraine (BE-GDL-FR) ou de l'Eifel (DE) excluant de manière claire ces différentes sources géographiques (cfr cartes de localisation dans les articles parus de ce volume et écrits par les participants au projet collectif de recherche). Une source belge dévonnaise régionale est donc à privilégier. *Mutatis mutandis*, aucun échantillon d'origine belge n'a été découvert sur les sites archéologiques normands ou lorrains. Les OIS n'ont donc pas circulé entre ces différentes régions. En revanche, il y a similitude parfaite entre les OIS trouvées sur les sites archéologiques hesbignons et néerlandais, en continuité géographique et les sites des sources de la Dendre.

### 3.4. Apports de la diffractométrie des rayons X à la caractérisation des OIS étudiées

Rappelons que la méthode est utilisée pour identifier et quantifier les seules phases cristallisées et qu'il existe un seuil de détection dépendant de nombreux facteurs dont la concentration dans le mélange et le degré de cristallinité des phases. Les minéraux identifiés avec certitude par diffraction des rayons X sur poudres désorientées de roche totale (Tab. 4) sont l'hématite ( $\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), le quartz et la goéthite [ $\text{FeO}(\text{OH})$ ]. Les carbonates comme la calcite et la dolomite sont présents dans certains échantillons examinés comme on peut les observer en lames minces. Les micas que l'on observe parfois sous la loupe binoculaire n'ont pas été identifiés sur les diffractogrammes de poudres. La sidérite ( $\text{FeCO}_3$ ) n'apparaît que dans un seul échantillon frais tandis que la chamosite [formule idéale :  $(\text{Fe}^{2+};\text{Mg};\text{Fe}^{3+})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH};\text{O})_8$ ] et la kaolinite [ $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ ] ne sont pas reconnues par les logiciels automatiques... La chamosite, en (relativement) faible proportion dans le mélange, est confondue par les logiciels avec la kaolinite et/ou la berthiérine (septochlorite), minéraux qui partagent des réflexions majeures communes. Des minéraux comme la chamosite ou la berthiérine [formule idéale :  $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ ], respectivement caractéristiques des « Clinton-type OIS » et « Minette-type OIS » sont mal détectés par la diffractométrie de routine.

On peut conclure que la DRX sur poudres désorientées est une méthode inadéquate pour répondre aux questions de provenance et

de caractérisation des OIS. La microdiffraction des rayons X et/ou l'analyse chimique à la microsonde sur lames minces polies seraient certainement plus adaptées pour caractériser finement certaines phases minérales.

### 3.5. Apports de la fluorescence des rayons-X portable

Les échantillons soumis à l'analyse par XRF portable sont listés au tableau 5. La caractérisation des OIS allemandes fera l'objet d'une publication ultérieure.

Trente-cinq éléments ont été mesurés (Tab. 6-1, 6-2, 8 – voir en fin d'article). Lorsque les valeurs mesurées sont en-dessous ou très proches de la limite de détection, les éléments chimiques correspondants sont supprimés (Ga, Cd, Sb, Co, Ni, Cu, Mo, Hg et U). Le Cl a également été supprimé car probablement lié à une contamination par l'eau. Les temps de mesure sont de 160 secondes. Les erreurs sont reportées au tableau 7 (voir en fin d'article). Les pourcentages des éléments majeurs, exprimés sous forme d'oxydes, représentent des teneurs obtenues en bouclant à 100 % sur les valeurs obtenues par XRF et dont les données brutes sont reprises aux tableaux 6-1 et 6-2.

Les analyses chimiques - données brutes et données exprimées en % d'oxydes pour les éléments majeurs - obtenues par XRF portable (Tab. 8, reproduit en fin d'article) s'accordent avec les observations macroscopiques et microscopiques. Les OIS archéologiques belges présentent

Origine	Âge	Hématite	Goéthite	Chlorite	Quartz	Calcite	Dolomite	Sidérite	Apatite
		%	%	Kaolinite	%	%	%	%	%
Vedrin (BE)	Fa inf.	50	-	24	-	8	18	-	traces
Huy Nord (BE)	Fa inf.	33	-	11	2	4	50	-	-
Lavoir (BE)	Fa inf.	96	-	1	3	-	-	-	-
Lanson (BE)	Fa inf.	78	22	-	-	-	-	-	-
Ejovice (CZ)	Ordov.	51	-	6	27	-	-	16	-
Stadt Kyll (DE)	Emsien	9	-	-	traces	91	-	-	-

**Tab. 4** – Composition minéralogique obtenue par DRX sur quelques OIS géologiques belges et étrangères (CZ = Tchéquie, DE = Allemagne).

**Tab. 4** – Mineralogical composition obtained by XRD-analysis on some OIS from Belgium and two other countries (CZ = Czech, DE = Germany).

des teneurs élevées en oxydes de fer comprises entre 50 et 86 %. Les quelques échantillons qui présentent des teneurs moindres en fer sont ceux qui sont macroscopiquement les plus pauvres en ooïdes et les plus riches en quartz et en minéraux argileux comme le démontrent les teneurs élevées en silice et en alumine. La silice (6 à 35 %) et l'alumine (6 à 18 %), combinées avec le potassium (0 à 1,8 % mais dosés avec peu de précision par XRF portable) correspondent à l'assemblage minéral du quartz et des minéraux argileux (illite/micas et chlorites). Les hautes teneurs en fer correspondent à des OIS quasi exclusivement constituées d'ooïdes ferrugineuses. Le magnésium est mal dosé par XRF, cependant les valeurs élevées sont dues à la présence de dolomite (carbonate double de Ca et de Mg) qui est quelquefois pré-

sent dans des OIS géologiques du Synclinorium de Namur, ainsi que dans les minéraux argileux. Les teneurs en calcium sont faibles pour les OIS archéologiques belges (et hollandaises), les OIS famenniennes du Synclinorium de Namur, faibles à élevées pour les OIS dévoniennes des Synclinoria de Dinant et de Verviers et très élevées pour les OIS allemandes. On peut observer que le calcium est soit lié à la présence de calcite (fossiles et/ou ciment calcitique et/ou à la dolomite), soit à la présence de phosphates (apatite biogénique sous forme de dents de poissons, écailles, pellets, conodontes, fragments de trilobites reconnaissables en lame mince). Les diagrammes binaires CaO/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> expriment les deux tendances. Il existe une corrélation positive forte ( $R^2 = 0,91$ ,  $n = 105$ ) entre les teneurs en CaO et les teneurs en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

<i>Échantillons géologiques</i>
<i>Échantillons géologiques belges</i> : EG-02, EG-03, EG-04, EG-05, EG-07, EG-08, EG-09, EG-10, EG-11, EG-13, EG-14, EG-16, EG-18, EG-19, EG-20, EG-21 & EG-22
<i>Échantillon géologique tchèque</i> : 1-ESJ (Ešjopovice, âge : Ordovicien moyen)
<i>Échantillon géologique du Grand-Duché de Luxembourg</i> : « Minette » (âge : Bajocien, Jurassique, Gutland)
<i>Échantillons géologiques allemands</i> (*) : EG-01 (Lissingen – collection André Dumont n° 2061), SCH01, REE-01, STA-01, ROH-01 (Roh, Roher syncline), HAM-01, HAM-02, HAM-03, OBA-01, OBA-02, OBA-03, OBA-04, OBA-05, OBA-6A, OBA-6B, OBA-07 & OBA-09
NB : OBA : prélèvement dans différentes couches (minces et épaisses), exploitées comme minerai de fer. Ces OIS ont aussi été broyées et utilisées comme poudre rouge pour la peau par les dames du village voisin du site, avant 1914 (communication orale 2012)

(\*) voir description au tableau 3.

<i>Échantillons archéologiques</i>
<i>Échantillons de différents sites de Hesbaye (LBK)</i> : VW-3 (VW : Vieux Waleffe HDB-6 (HDB : Hollogne-12-Bonniers), HDB-10, HDB-11, HDB-13*, HDB-15*, OZ-12* (OZ : Oleye Al Zèpe), OZ-16, DA-19 (DA : Darion), DA-22, DA-23*, DA-26*, FHC-PCN-101* (FHC : Fexhe-le-Haut-Clocher), FHC-PCN-105*, FHC-PCN-106*, REM 97BFII-116 (REM : Remicourt), REM 97BFII-119*, REM 97BFII-123, REM 97BFII-124*, WAR 96VIN-127 (WAR : Waremmes Vinâve), WAR 96VIN-135, WLP 88-137 (WLP : Waremmes Longchamps), WLP 88-139, WLP 88-140*
<i>Échantillons des sites des sources de la Dendre</i>
ORM = site « Le Pilon à Ormeignies » : n° 89 (ORM/93/PIL ; C : A2, triangle : 10, H : 0-20), N°90 (ORM/93/PIL ; C : A, triangle : 122/125, H : 0-10), n° 94 (ORM/93/PIL ; C : B4, triangle : 125, H : 10-20), n° 95 (ORM/93/PIL ; C : C, triangle : 129, H : 20-30), n° 100 (ORM/93/PIL ; C : D, triangle : 132, H : 0-10), n° 102* (ORM/93/PIL ; C : D, triangle : 7, H : surface), CM : site « Coron Maton » à Aubechies : CM-st140-6118*, CM-st140-6120*, CM-st162-6782, CM-st162-6794*
BPR = site « La Petite Rosière » à Blicquy : Blicquy PR St27-3337*, Blicquy PR St27-3775*, Blicquy PR St29-3121*, Blicquy PR St29-4122*, Blicquy PR St29-4219*, Blicquy PR St29-4220*, Blicquy PR St29-818*, Blicquy PR St6-1833*, Blicquy PR St7-610*
BF = site « La Bonne Fortune » à Irchonwelz : BF-11738*

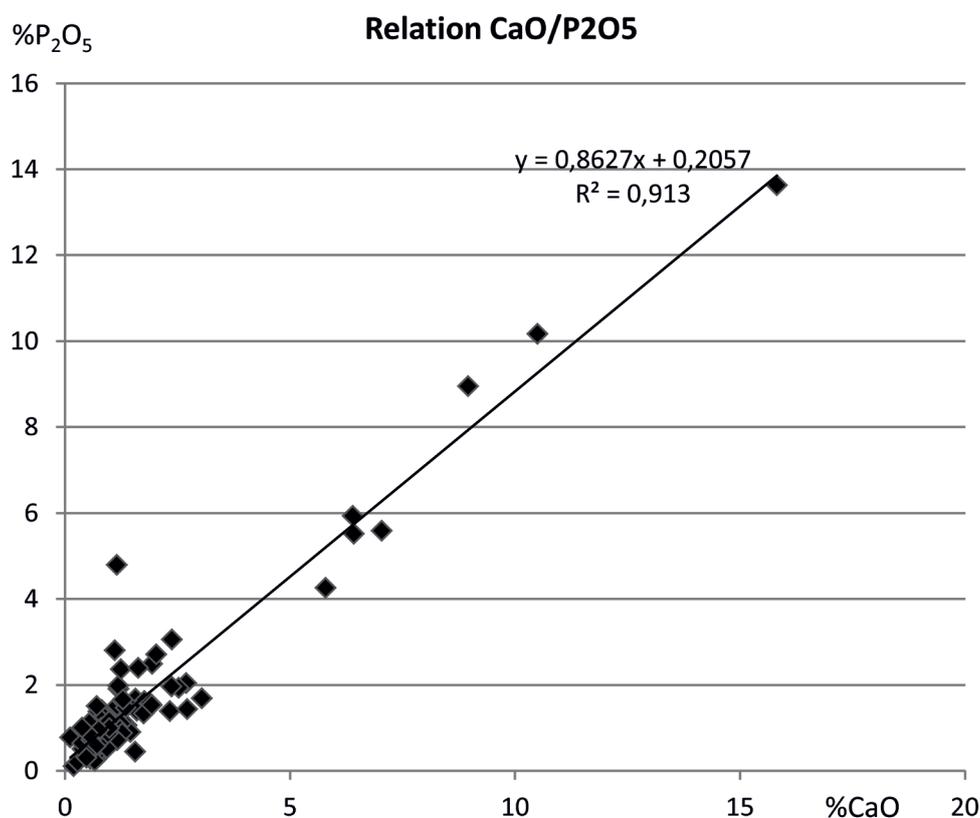
**Tab. 5** – Échantillons géologiques et archéologiques soumis à l'analyse XRF. Les objets facettés sont indiqués avec un astérisque.

**Tab. 5** – *Geological and archeological samples analysed by XRF. Facetted objects are marked with an asterisk.*

(Fig. 2) pour les OIS archéologiques (Belgique et Pays-Bas), indicative de la présence d'apatite.

Les concentrations en éléments majeurs (Fe-Si-Al-K-Ca-Mg-Ti-P-Mn) mesurées par fluorescence X portable ont été converties en % d'oxydes et représentées dans un diagramme ternaire (Fig. 3) dont les trois pôles représentent successivement les éléments métalliques ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{TiO}_2$ - $\text{MnO}_2$ ), les minéraux détritiques (quartz et minéraux des argiles :  $\text{SiO}_2$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{K}_2\text{O}$ ) et les carbonates+phosphates ( $\text{CaO}$ - $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Notons toutefois que le titane est corrélé positivement à l'aluminium et donc aux argiles, tandis que le manganèse est plus ubiquiste. Leurs valeurs faibles ont toutefois très peu d'influence sur le graphique de la figure 3. Les carbonates correspondent tant aux débris de fossiles carbonatés qu'un éventuel ciment calcitique ou dolomitique. Les phosphates sont liés aux fossiles phosphatés. Le magnésium étant présent tant dans la dolomite

que les minéraux argileux, et considéré comme mal dosé, n'a pas été intégré dans le graphique. La représentation triangulaire (Fig. 3) montre que les échantillons archéologiques belges (Dendre + Hesbaye) et néerlandais occupent une aire commune indiquant une gamme similaire de compositions chimiques attestant d'une origine commune et marquée par le couple « oïdes de fer » et « matrice détritique » et de faibles teneurs en carbonates. Les OIS allemandes, se distinguent par leur richesse en carbonates (ciment et bioclastes calcaires) et forment un nuage séparé de celui des artefacts belgo-néerlandais. Les échantillons géologiques belges présentent toute la variabilité naturelle existante sur le territoire, mais seuls les échantillons collectés entre Loyable et Amay, sur le flanc sud du Synclinorium de Namur ont des compositions similaires aux échantillons archéologiques. Les autres sources géologiques ne peuvent avoir fourni de la matière première aux Rubanés. En effet, les OIS du flanc nord du Synclinorium



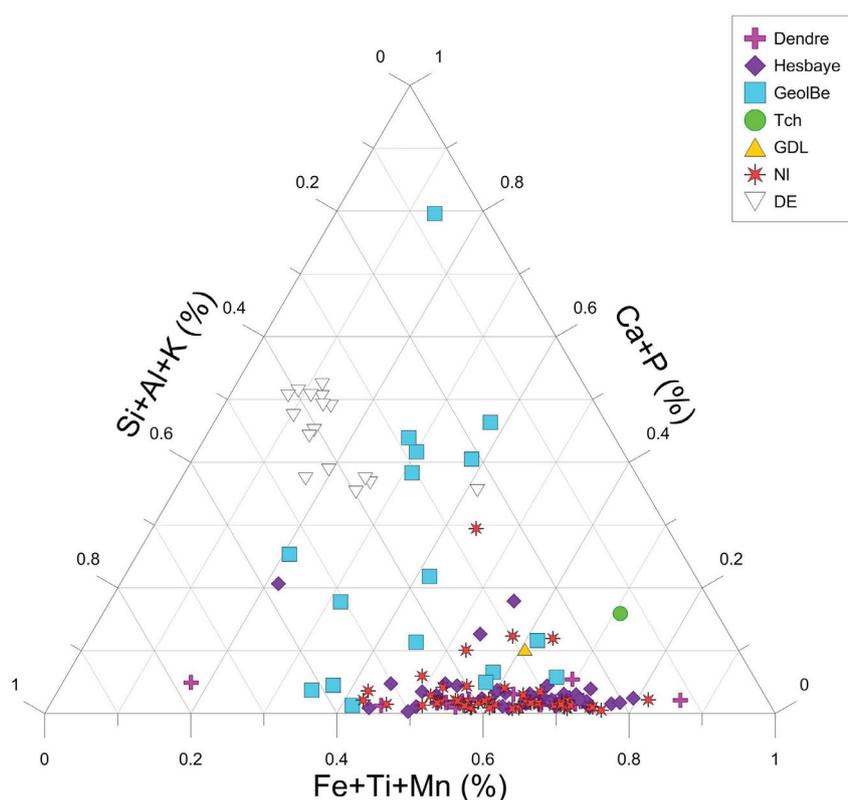
**Fig. 2** – Relation linéaire entre les teneurs en calcium et en phosphore dans les OIS archéologiques belges et néerlandaises. Données provenant des analyses par XRF portable.

*Fig. 2* – Linear relation between the calcium and phosphorus contents in the OIS artefacts from Belgium and the Netherlands. Data acquired by HH-XRF.

de Namur sont plus riches à la fois en éléments détritiques terrigènes et en fragments de fossiles, témoins de dépôts proximaux et, à l'inverse, les échantillons du flanc nord du Synclinorium de Dinant sont plus pauvres en éléments terrigènes et plus riches en calcite (fossiles et ciment).

La figure 4 regroupe toutes les données géochimiques liées au couple Ca/P. On observe que les OIS archéologiques belges de Hesbaye se superposent parfaitement avec celles trouvées dans la région de Maastricht. Les OIS archéologiques issues des sites de la Dendre montrent aussi une superposition avec les OIS archéologiques hesbignonnes, malgré une dispersion moins grande. Les OIS géologiques allemandes s'inscrivent dans un nuage bien circonscrit qui permet de

les distinguer aisément des OIS archéologiques. Les OIS géologiques belges forment un nuage très large rendant compte des différents niveaux géologiques variant en stratigraphie, en géologie (paléogéographie différente), en géographie mais aussi en teneur en fer. Rappelons ici que les échantillons géologiques disponibles sur le terrain aujourd'hui ne sont pas les plus riches, ces derniers ayant été exploités à différents moments. Manifestement, les préhistoriques privilégiaient des OIS provenant de couches très spécifiques riches en fer. La meilleure correspondance se fait avec les échantillons géologiques du flanc sud du Synclinorium de Namur et, encore une fois, avec une zone de 3 km de Loyable à Amay, sur la rive gauche de la vallée de la Meuse. Les versants plus ou moins abrupts érodés par la Meuse ou aban-



**Fig. 3** – Diagramme ternaire de composition chimique (exprimé en % d'oxydes) des OIS archéologiques (sources de la Dendre : croix roses, Hesbaye : losange bleus et Pays-Bas : étoiles rouges – données de Wijnen, 2013) et géologiques (Belgique : carrés bleus et Eifel : triangles vides) acquis par XRF portable. Fe : %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Ti : %  $\text{TiO}_2$ , Mn : %  $\text{MnO}_2$ , Ca : %  $\text{CaO}$ , P : %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Si : %  $\text{SiO}_2$ , Al : %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , K : %  $\text{K}_2\text{O}$ .

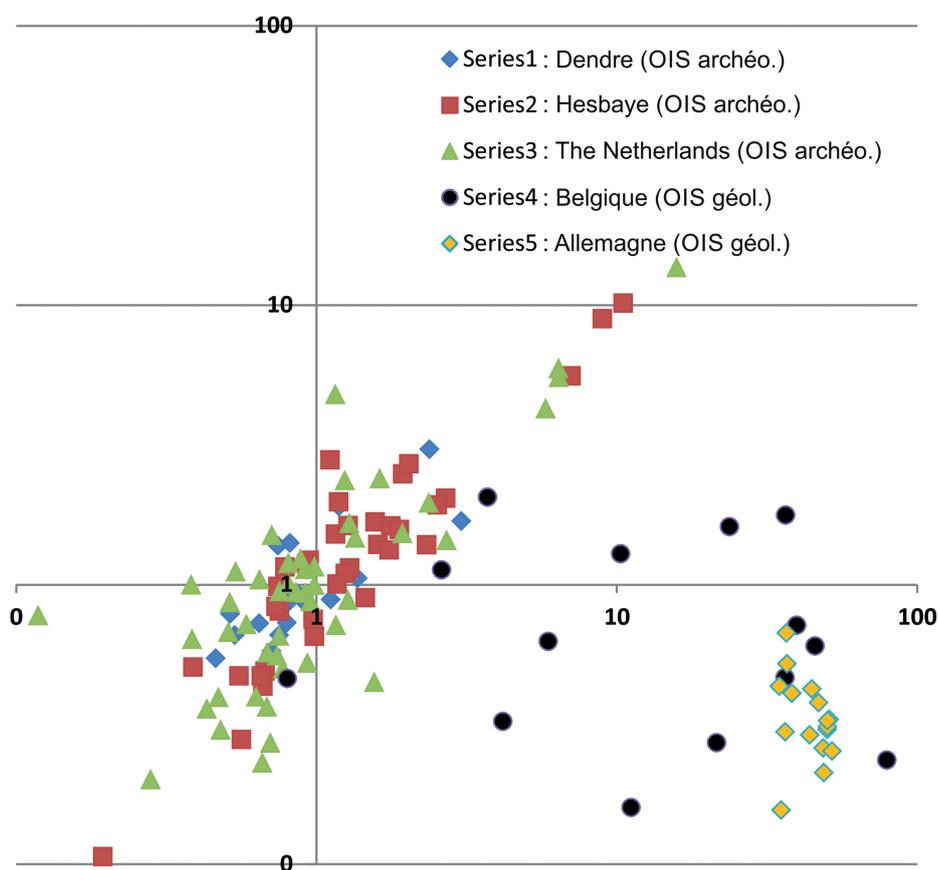
**Fig. 3** – Ternary plot of the chemical compositions of the archaeological artefacts (Dendre springs: pink crosses, Hesbaye: blue lozenges and The Netherlands: red stars, data from Wijnen, 2013) and geological raw material (Belgium: blue squares and Eifel: empty triangles).

Fe: %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Ti: %  $\text{TiO}_2$ , Mn: %  $\text{MnO}_2$ , Ca: %  $\text{CaO}$ , P: %  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Si: %  $\text{SiO}_2$ , Al: %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , K: %  $\text{K}_2\text{O}$ .

donnés par celle-ci offrent des opportunités à l'affleurement. Les couches (de quelques centimètres à quelques dizaines de centimètres d'épaisseur) y sont soit redressées, soit en demi-dressant, configuration offrant une grande quantité de matière première sur une certaine hauteur (plurimétrique à décimétrique). Le rafraîchissement naturel de la coupe par érosion, ravinement ou effondrement, offre des OIS non altérées constituées d'hématite bien rouge. Ces lits d'hématite oolithique sont facilement accessibles et visibles car ils sont encadrés par des shales friables brunâtres. Ces conditions sont de nature à fournir plus de matière que nécessaire pour un usage domestique et autorisent donc une sélection des blocs les plus adaptés aux usages du matériau recherché. La présence de grains de

quartz à l'intérieur de la roche colorante permet un broyage aisé de la matière et l'obtention aisée d'une poudre fine (cf. contribution de Caroline Hamon *et al.*, 2016 : ce volume). Les minéraux argileux, présents en faible proportion, devaient aussi présenter un intérêt spécifique qui reste à préciser (pâte avec l'eau, lubrifiant lors du broyage...).

On note aussi que si un nouvel échantillonnage en site géologique devait être reconduit, il faut absolument privilégier les couches les plus riches en oïdes et au sein desquelles ces dernières sont les plus fines. Notons que les couches d'OIS affleurant au niveau du flanc sud du Synclinorium de Namur ne sont pas parfaitement homogènes, et que l'on observe une variation la-



**Fig. 4** – Diagramme de mise en relation des teneurs en calcium et en phosphore dans les OIS archéologiques belges des sources de la Dendre (losanges bleus), de Hesbaye (carrés rouges), néerlandaises (triangles verts) et les OIS géologiques belges (ronds noirs) et allemandes (losanges orange). Données provenant de l'analyse par XRF portable. Axe horizontal : % CaO; axe vertical : % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

**Fig. 4** – Plot of the calcium versus phosphorus content in OIS from archaeological sites of the Dendre springs area (blue losanges), the Hesbaye (red squares), the Netherlands (green triangles) as well as from the Belgian (black dots) and German (orange lozenges) geological OIS. Data from HH-XRF measurements. Horizontal axis: % CaO; vertical axis: % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

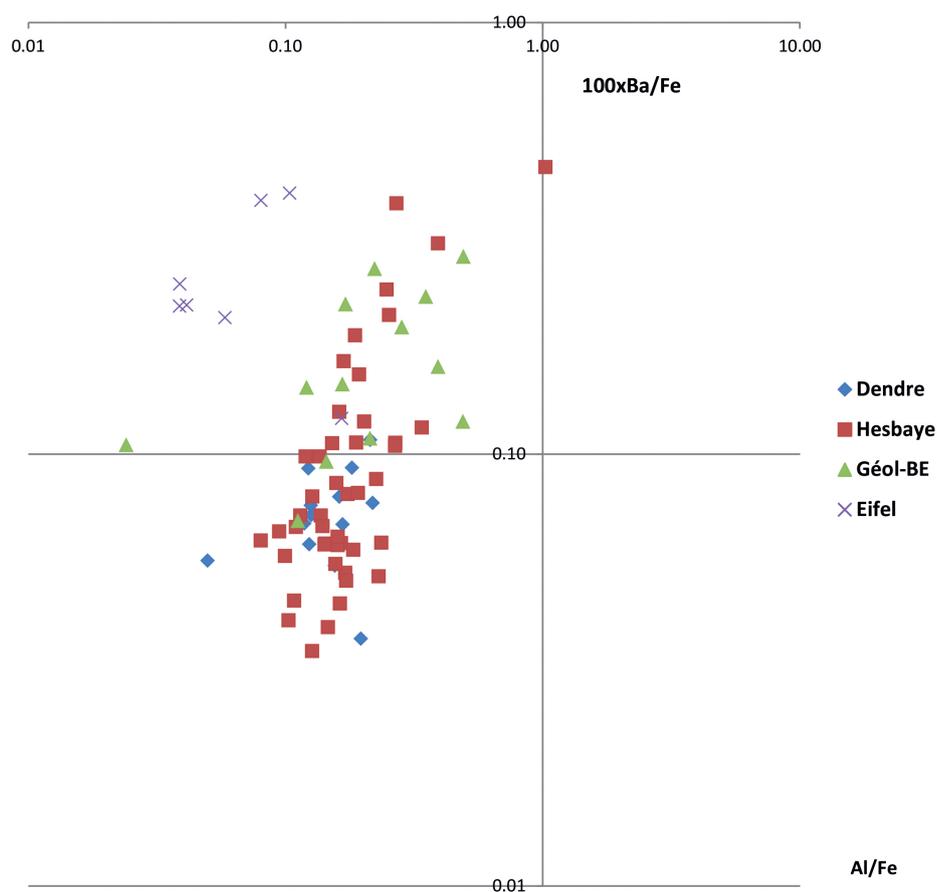
térale et verticale, mais aussi de lit à lit dans la richesse en ooïdes. Il est donc logique que les analyses présentent une certaine dispersion.

Un autre type de représentation mettant en relation les teneurs en baryum (Fig. 5) et en aluminium normalisées par rapport à la teneur en fer permet de bien séparer les OIS allemandes (plus riches en baryum et pauvre en alumine) des OIS archéologiques belges. On notera que les OIS des sources de la Dendre forment un nuage de points plus circonscrit (teneurs en baryum moindre) que celui des OIS de Hesbaye et pourraient être interprétées comme l'utilisation d'un nombre plus limité de lits dans le gisement géologique.

### 3.6. Résultats par PIXE

La détermination de la composition élémentaire des OIS des sites LBK hesbignons a été

complétée par l'analyse par faisceau d'ions (PIXE : *Particle Induced X-ray Emission*). L'objectif était de chercher une meilleure résolution de détection des éléments traces, possibles signatures géologiques, et de rechercher les similarités et différences dans les modalités d'approvisionnement en OIS entre les différentes installations rubanées en Hesbaye liégeoise et au cours du temps. Il n'y a pas eu d'analyses PIXE effectuées sur les échantillons des sites des sources de la Dendre. La mise en place des analyses suit un protocole identique à celui utilisé pour analyser les OIS de Basse-Normandie (cfr. article Goemaere *et al.*, 2016 : ce volume). Le traitement des mesures a été orienté vers la recherche de la contribution chimique des différentes phases minérales associées au sein des OIS (oolithes, contributions détritiques, apport des phases d'origine biogénique). Nous avons réalisé des tests de Pearson et des graphiques xy pour chercher les correspondances entre certains élé-



**Fig. 5** – Diagramme bilogarithmique (axe des abscisses : Al/Fe; axe des ordonnées : 100xBa/Fe). Données géochimiques obtenues par XRF portable.

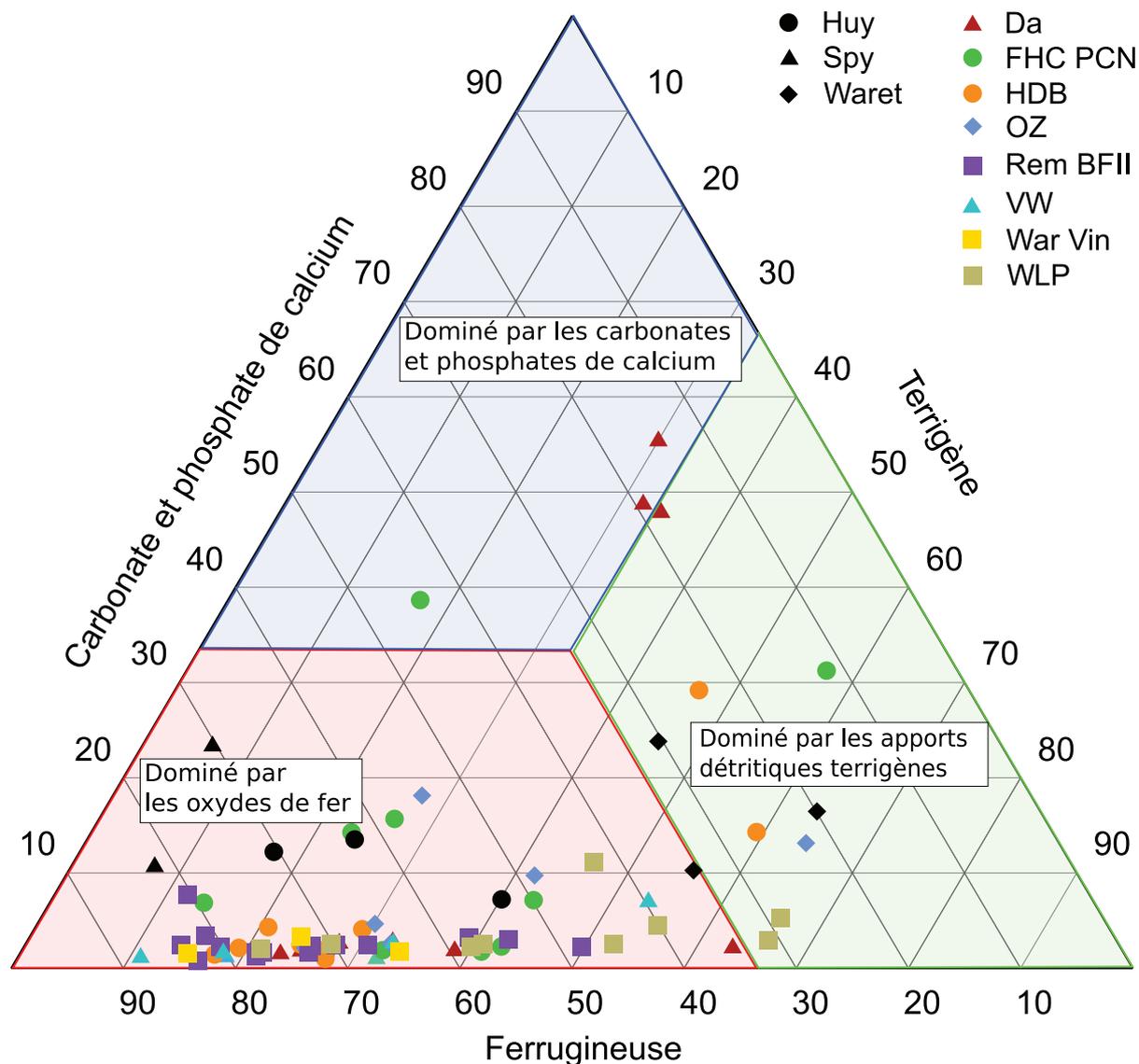
**Fig. 5** – Bilogarithmic diagram (x-axis: Al/Fe; y-axis: 100xBa/Fe). Chemical data after HH-XRF analyses.

ments traces et certaines phases : phase ferrugineuse, phase phosphatée (apatite) et carbonatée (calcite), phases d'altération et terrigène réunissant les contributions détritiques de la roche (argiles, quartz en particulier). Compte tenu du fait que les OIS sont des roches hétérogènes et grossières à forte variabilité du rapport ciment/matrice et en concentration d'ooïdes au sein d'un même échantillon aussi bien qu'au sein de la formation géologique, plusieurs points (de 2 à 4) ont été mesurés pour chaque objet archéologique ou échantillon géologique de référence, de manière à dégager les tendances chimiques des OIS. De plus, la taille du faisceau à AGLAE (Accélérateur Grand Louvre d'analyse élémentaire) mesure 50  $\mu\text{m}$  de diamètre. Pour homogénéiser la mesure et être à même de la comparer avec les mesures réalisées à l'IPNAS (Institut de Physique Nucléaire, Atomique et de Spectroscopie de l'Université de Liège), dont le faisceau de protons mesure 500  $\mu\text{m}$  de diamètre, nous avons effectué un balayage de 500x500  $\mu\text{m}^2$  pour chaque point. La multiplication des points de mesure sur chaque échantillon permet de comparer les données obtenues pour plusieurs volumes de roche dont l'effet est de réduire l'impact de l'hétérogénéité de la roche sur les mesures et vise à mettre en évidence les tendances élémentaires qui s'expliquent en terme de formation et d'évolution de la roche. Un corpus de 25 objets archéologiques (dont 11 facettés) provenant des différents sites hesbignons a été analysé en PIXE (tableau dans Bosquet *et al.*, 2016 : ce volume), de même que trois échantillons géologiques conservés dans les collections de l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique ont été analysés (Tab. 9, voir en fin d'article).

Les analyses chimiques, exprimées en % massiques d'oxydes pour les éléments majeurs et en ppm pour les traces (Tab. 9) confirment les observations aux différentes échelles et les analyses réalisées en fluorescence X portable. Les concentrations ainsi obtenues ont été reportées dans un diagramme ternaire du même type que celui qui illustre les résultats XRF. Les trois grandes phases minérales figurent les sommets du triangle : composés terrigènes ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Rb}_2\text{O}$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ), phase ferrugineuse (exprimée en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  et  $\text{V}_3\text{O}_2$ ) et phase associant carbonate et phosphate de calcium ( $\text{CaO}$  et  $\text{P}_2\text{O}_5$ ). Le diagramme montre que l'essentiel des OIS mises au jour dans les sites rubanés de Hesbaye contiennent principalement des oxydes de fer (Fig. 6).

Rares sont les objets dont la composition est dominée soit par les apports d'origine détritique et ceux liés à l'altération. En particulier, les OIS archéologiques présentent le plus souvent des teneurs moyennes en oxydes de fer comprises entre 45 et 82 %. Elles révèlent aussi des teneurs en carbonate et phosphate de calcium très variables sur un même objet, ce qui est expliqué par la granulométrie moyenne assez élevée du sédiment et son hétérogénéité à l'échelle d'observation. Des objets hétérogènes donnent des teneurs différentes d'un point analysé à l'autre. En effet, compte tenu de la taille du faisceau (environ 2500  $\mu\text{m}^2$ ), l'analyse en PIXE se révèle ponctuelle et de ce fait, il est plus pertinent de chercher les tendances communes des éléments mesurés en plusieurs points afin d'identifier quels sont les éléments marqueurs de chaque phase minérale présente et l'importance de leur contribution au sein des objets analysés. C'est pourquoi, certaines mesures montrent, sur un même objet, de fortes variations de la teneur en oxydes de fer (par exemple OZ16 donne des teneurs en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  comprises entre 22 et 65 %). Trois objets archéologiques contiennent peu d'oxyde de fer (Da20, HDB13 et WLG136). Pour le premier, Da20, la contribution des carbonates et phosphates de calcium, à hauteur de 46 à 53 %, en fait une roche à contenu biogénique élevé (bioclastes) localement concentré ; les mesures sont donc conditionnées par l'endroit où les mesures sont effectuées et par la non-homogénéité chimique du matériau. Quant à HDB13 et WLG136, ils se caractérisent par une forte composante détritique terrigène avec 47 à 67 % de quartz et minéraux argileux (Al, Si, K, Ti), faisant de ces objets archéologiques plutôt des siltites ou des argilites avec des oolithes. Les objets archéologiques les plus riches en oxydes de fer ont montré qu'ils étaient les plus riches en oolithes, d'une part, au sein d'une matrice elle-même très riche en oxydes de fer, d'autre part, à l'image des mesures ponctuelles obtenues sur l'objet WAR125 : 83 % d'oxydes de fer ont été détectés sur des oolithes et 71 % dans la matrice.

Les échantillons géologiques de référence sortent légèrement de la tendance donnée par la plus grande partie des objets archéologiques, et ce pour différentes raisons. L'échantillon de Ville-en-Waret (EG-03) présente de faibles teneurs en oxydes de fer et révèle une forte contribution terrigène. Quant aux échantillons de Spy (EG-02) et Huy (EG-04), bien que riches en oxydes de fer



**Fig. 6** – Diagramme ternaire de la composition chimique des OIS archéologiques et géologiques exprimée en % d'oxydes. Carbonate et phosphate de calcium (% CaO + % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + % SrO), terrigène (% MgO + % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % SiO<sub>2</sub> + % K<sub>2</sub>O + % TiO<sub>2</sub> + % Rb<sub>2</sub>O + % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % ZrO<sub>2</sub>), ferrugineuse (% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*). Les sites archéologiques représentés sont : Da, Darion « Colia » ; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l'Cortri » ; HDB, Hollogne « Douze Bonniers » ; OZ, Oleye « Al Zèpe » ; Rem BFII, Remicourt « En Bia Flo » II ; VW, Vieux-Waleffe « Framaset » ; War Vin, Waremme « Vinâve » ; WLP, Waremme « Longchamps ». Les sites géologiques de comparaisons sont représentés par les symboles noirs et sont situés derrière la gare de Huy-Nord, à Spy et à Waret.

\* Cfr Fig. 8 et discussion associée.

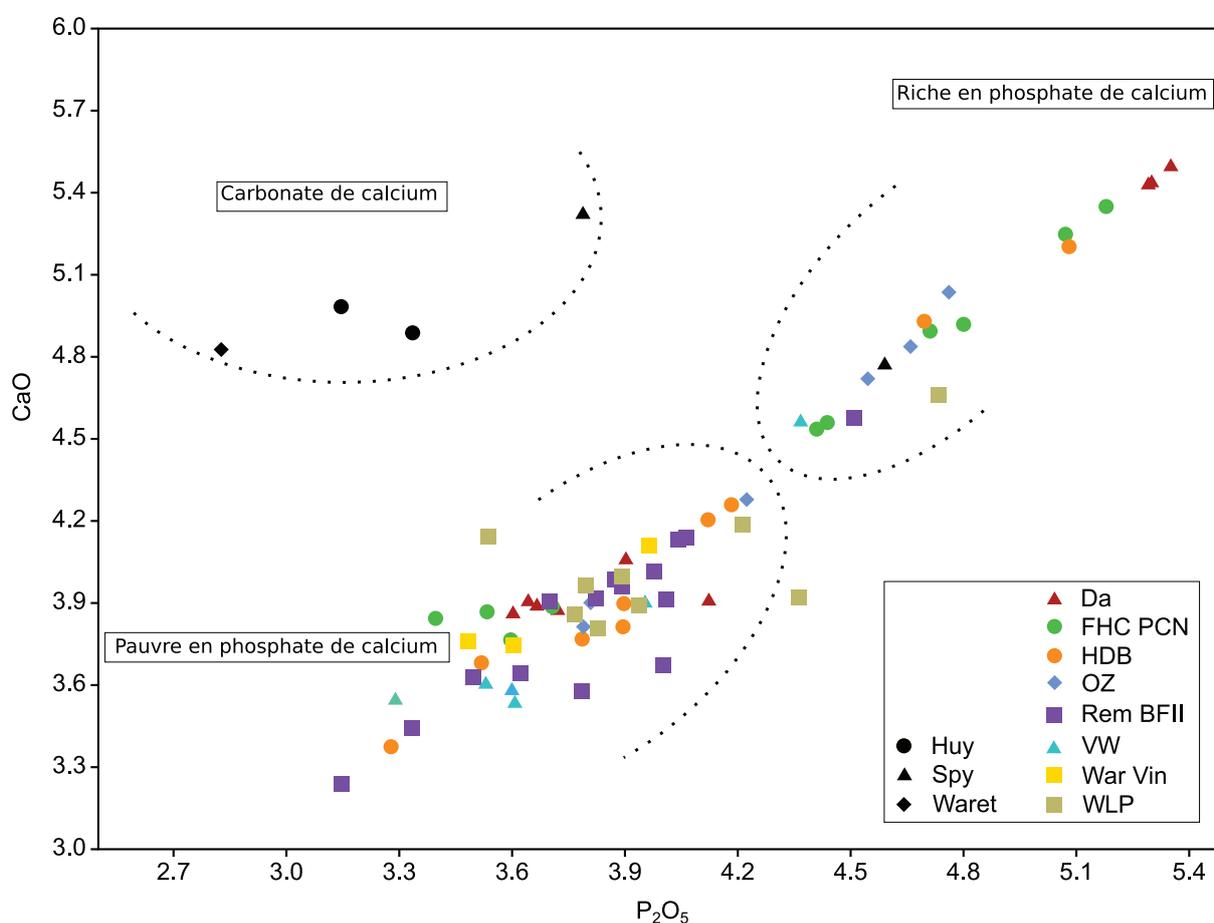
**Fig. 6** – Ternary diagram of archaeological and geological OIS of the Hesbaye area. Calcium carbonate and phosphate (% CaO + % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + % SrO), terrigène (% MgO + % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % SiO<sub>2</sub> + % K<sub>2</sub>O + % TiO<sub>2</sub> + % Rb<sub>2</sub>O + % Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % ZrO<sub>2</sub>), ferrugineuse (% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + % V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\*). Archeological sites illustrated are: Da, Darion "Colia"; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher "Podrî l'Cortri"; HDB, Hollogne "Douze Bonniers"; OZ, Oleye "Al Zèpe"; Rem BFII, Remicourt "En Bia Flo" II; VW, Vieux-Waleffe "Framaset"; War Vin, Waremme "Vinâve"; WLP, Waremme "Longchamps". The geological sites of comparisons are represented by black symbols and are situated behind the station of Huy-North, at Spy and at Waret.

\* Cfr Fig. 8 and associated discussion.

(avec des teneurs comprises entre 51 et 81 %), ils contiennent des phosphates et des carbonates de calcium sous forme de ciment calcitique et de fossiles.

La plupart des OIS présentent une intime dépendance du calcium et du phosphore indiquant la présence d'apatite (Fig. 7) comme déjà soulignée par les analyses par XRF portable. Les échantillons géologiques (Ville-en-Waret, Huy et un des deux points analysés sur l'échantillon de Spy) révèlent de plus fortes teneurs relatives en

calcium traduisant la détection de ciment calcitique (ou dolomitique) en plus de l'apatite. Un objet de Darion (Da 20) présente aussi une forte contribution de l'apatite et de la calcite. Si on exclut les références géologiques, les analyses montrent une stricte corrélation ( $R^2 = 0,99$ ,  $n = 67$ ) des deux éléments. Par ailleurs, le rapport  $[Ca]/[P]$  est supérieur à 3/5 (rapport stœchiométrique du calcium et du phosphore dans l'apatite), ce qui traduirait la présence d'au moins une autre phase minérale non identifiée contenant du Ca (e.g. : plagioclase anorthitique).

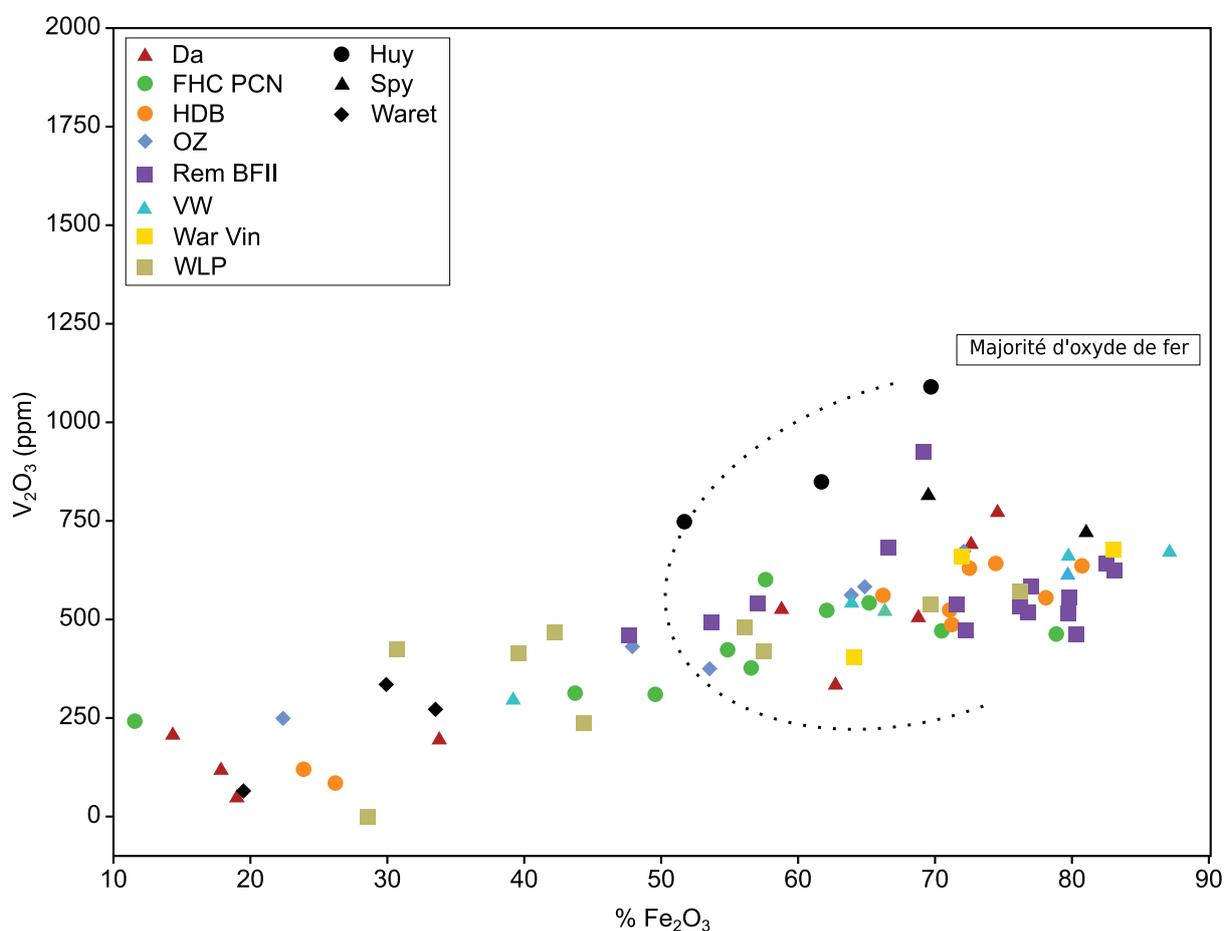


**Fig. 7** – Graphe mettant en relation les teneurs en CaO ( $\log_{10}\%CaO$ ) en fonction des teneurs en  $P_2O_5$  ( $\log_{10}\%P_2O_5$ ). Les sites archéologiques représentés sont : Da, Darion « Colia » ; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l’Cortri » ; HDB, Hollogne « Douze Bonniers » ; OZ, Oleye « Al Zèpe » ; Rem BFII, Remicourt « En Bia Flo » II ; VW, Vieux-Waleffe « Framaset » ; War Vin, Waremme « Vinâve » ; WLP, Waremme « Longchamps ». Les références géologiques sont représentées par les symboles noirs : Huy, Spy, Waret.

**Fig. 7** – Graph of the  $\log_{10}\%CaO$  content as a function of  $\log_{10}\%P_2O_5$ . Archeological sites illustrated are: Da, Darion “Colia”; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher “Podrî l’Cortri”; HDB, Hollogne “Douze Bonniers”; OZ, Oleye “Al Zèpe”; Rem BFII, Remicourt “En Bia Flo” II; VW, Vieux-Waleffe “Framaset”; War Vin, Waremme “Vinâve”; WLP, Waremme “Longchamps”. Geological samples are represented by black symbols: Huy, Spy, Waret.

Le vanadium est le seul élément corrélé au fer ( $R^2 = 0,85$ ) (Fig. 8). Tous les objets archéologiques et les échantillons géologiques suivent la même tendance, avec de légères différences. Certains objets montrent une grande dispersion (OZ16, FHC100, WLG2), mais tous les points d'analyse montrent la même tendance. Les OIS extraites et exploitées sur les différents établissements rubanés révèlent une riche palette de matières, selon un gradient qui correspond aux OIS disponibles au sein des nombreuses couches qui affleuraient durant le Néolithique ancien, des plus

pauvres en oxydes de fer (riches en argiles et/ou carbonate et phosphate de calcium) au plus riches en oxydes de fer. L'observation méso- et microscopique d'un continuum lithologique au sein du corpus d'OIS hesbignonnes est confirmée ici par les analyses chimiques. Les OIS de Villeden-Waret (EG-03) font partie des matières premières pauvres en oxydes de fer et se rapprochent, tant par la concentration en oxydes de fer que par la concentration en  $V_2O_3$ , des trois objets particuliers Da20 (Darion), WLG136 (Waremme « Longchamps ») et HDB13 (Holloigne « Douze



**Fig. 8** – Graphe mettant en relation les teneurs en  $V_2O_3$  (ppm) en fonction des teneurs en  $Fe_2O_3$  (%). Les sites archéologiques représentés sont : Da, Darion « Colia » ; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l’Cortri » ; HDB, Hollogne « Douze Bonniers » ; OZ, Oleye « Al Zèpe » ; Rem BFII, Remicourt « En Bia Flo » II ; VW, Vieux-Waleffe « Framaset » ; War Vin, Waremme « Vinâve » ; WLP, Waremme « Longchamps ».

Les références géologiques sont représentées par les symboles noirs : Huy, Spy, Waret.

**Fig. 8** – Graph showing the  $V_2O_3$  content as a function of  $Fe_2O_3$ . Archeological sites illustrated are: Da, Darion “Colia”; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher “Podrî l’Cortri”; HDB, Hollogne “Douze Bonniers”; OZ, Oleye “Al Zèpe”; Rem BFII, Remicourt “En Bia Flo” II; VW, Vieux-Waleffe “Framaset”; War Vin, Waremme “Vinâve”; WLP, Waremme “Longchamps”. Geological samples are represented by black symbols: Huy, Spy, Waret.

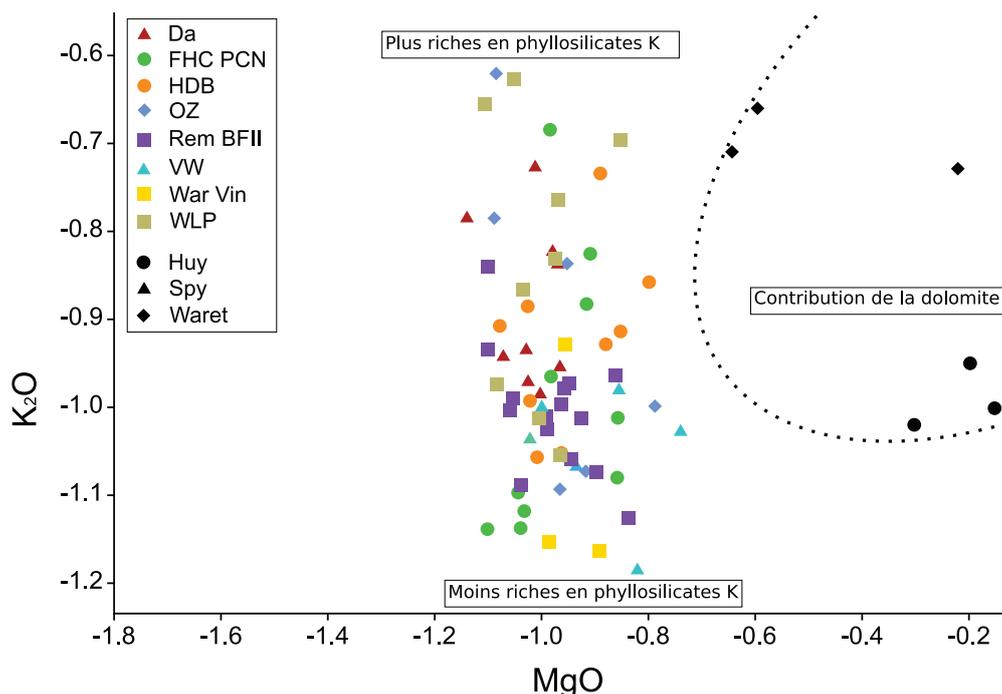
Bonniers ». L'échantillon de Spy (EG-02), quant à lui, suit parfaitement la tendance des autres OIS avec une forte teneur en oxydes de fer et de vanadium.

L'étude de la phase détritique est riche d'informations car quatre éléments sont dépendants de l'aluminium : Si, Mg, K et Ti. Nous avons retenu les trois derniers (respectivement  $R^2_{\text{MgO}} = 0,75$  ;  $R^2_{\text{K}_2\text{O}} = 0,91$  ;  $R^2_{\text{TiO}_2} = 0,76$ ) pour tracer des graphiques en deux dimensions.

Si le magnésium est mal dosé par HH-XRF, il l'est en revanche beaucoup plus précisément en PIXE et il s'avère que cet élément est tout particulièrement discriminant car le magnésium peut être associé aux phyllosilicates (chlorite, micas, smectite, vermiculite) traduisant la contribution détritique de la roche et/ou à la dolomite

[CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], occasionnellement attestée dans les OIS du Synclinorium de Namur. Notons que les smectites et les vermiculites ne sont plus présentes dans les sédiments dévoniens, compte tenu de leur degré d'évolution diagenétique. Les smectites et vermiculites présentes dans l'assemblage minéralogique indiqueraient une altération des minéraux présents, en particulier de la chlorite.

L'assemblage archéologique est uniforme car le rapport  $[\text{MgO}]/[\text{Al}_2\text{O}_3]$  est constant indiquant que les artefacts contiennent peu ou pas de dolomite. Les échantillons géologiques de référence présentent des teneurs relatives en magnésium supérieures aux OIS archéologiques. Cette tendance différente tendrait à indiquer que les références géologiques contiennent plus de dolomite que les objets archéologiques (Fig. 9).



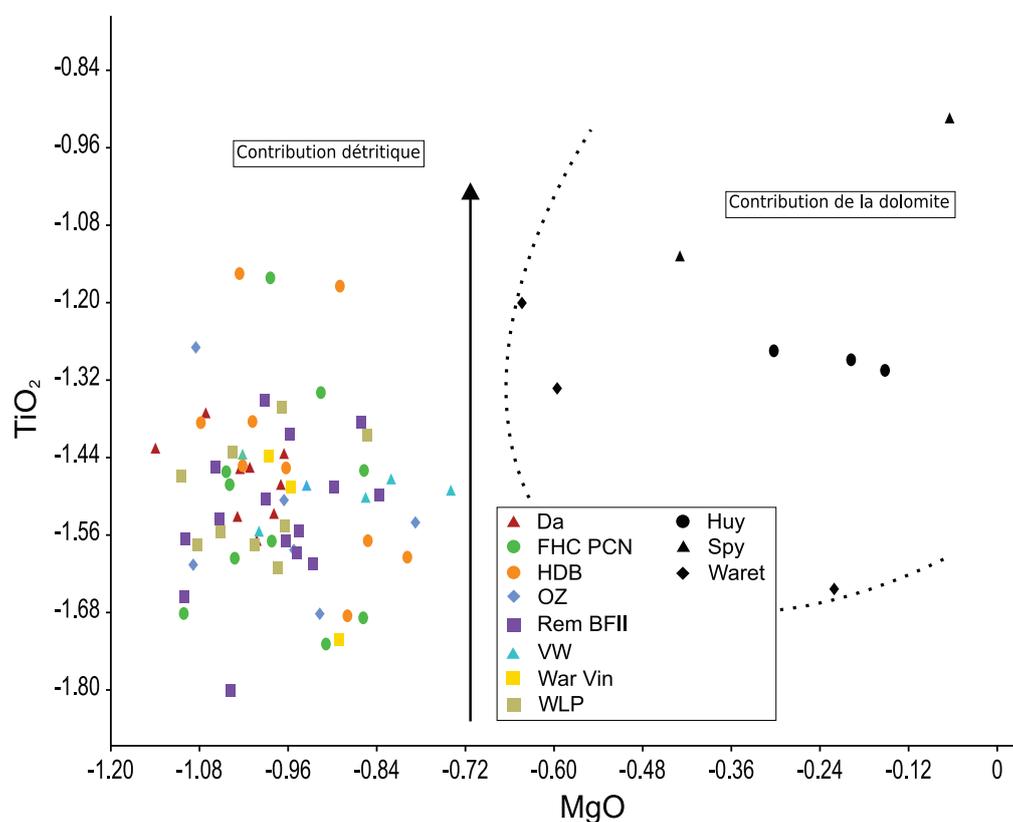
**Fig. 9** – Graphe des éléments dépendants de l'aluminium (MgO, K<sub>2</sub>O) représentés en  $\log_{10}$  du rapport [élément]/[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]. Sites archéologiques : Da, Darion « Colia » ; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l'Cortri » ; HDB, Hollogne « Douze Bonniers » ; OZ, Oleye « Al Zèpe » ; Rem BFII, Remicourt « En Bia Flo » II ; VW, Vieux-Waleffe « Framaset » ; War Vin, Waremme « Vinâve » ; WLP, Waremme « Longchamps ». Les références géologiques sont représentées par les symboles noirs : Huy, Spy, Waret.

**Fig. 9** – Graph of the trace elements correlated to aluminum represented in  $\log_{10}$  of [element]/[Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>]. Archaeological sites: Da, Darion "Colia"; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher "Podrî l'Cortri"; HDB, Hollogne "Douze Bonniers"; OZ, Oleye "Al Zèpe"; Rem BFII, Remicourt "En Bia Flo" II; VW, Vieux-Waleffe "Framaset"; War Vin, Waremme "Vinâve"; WLP, Waremme "Longchamps". Geological samples are represented by black symbols: Huy, Spy, Waret.

La représentation des éléments dépendants de certaines argiles comme le magnésium, déjà présentée, mais aussi le potassium (K), présent dans l'illite (identifiée au DRX) et les feldspaths potassiques par exemple, révèle un gradient depuis les OIS les plus pauvres en K aux plus riches en K (Fig. 9). L'assemblage de Remicourt semble particulièrement homogène. Notons ici que les sédiments fameniens sont caractérisés par un contenu argileux riche en illite et micas et en feldspaths (surtout des plagioclases) et se distingue ainsi des autres séries terrigènes dévoniennes ou silésiennes.

Les teneurs relatives en minéraux dens,

comme le titane et le zircon présents principalement dans la phase détritique, montrent un corpus homogène, indiquant une même source, c'est-à-dire une même origine géologique pour tous les échantillons archéologiques et géologiques (Fig. 10 gauche et droite). Les sédiments dévoniens belges ont un assemblage de minéraux denses constitués de zircon, tourmaline, rutile, apatite, ainsi que des ferro-titanés (ilménite, hémilménite, titano-magnétite, magnétite). Le titane peut aussi remplacer le Si dans les phyllosilicates, mais en très faible proportion. On peut considérer que la majorité du titane est associé aux ferro-titanés et au rutile, représentant la fraction détritique du sédiment (Goemaere & Hurford, 1997).



**Fig. 10** – Graphe mettant en relation deux éléments dépendants de l'aluminium ( $\text{MgO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ) représentés en  $\log_{10}$  du rapport [élément]/ $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ . Les références géologiques sont représentées par les symboles noirs. Sites archéologiques : Da, Darion « Colia » ; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher « Podrî l'Cortri » ; HDB, Hollogne « Douze Bonniers » ; OZ, Oleye « Al Zèpe » ; Rem BFII, Remicourt « En Bia Flo » II ; VW, Vieux-Waleffe « Framaset » ; War Vin, Waremme « Vinâve » ; WLP, Waremme « Longchamps ». Sites géologiques : Huy, Spy, Waret.

**Fig. 10** – Graph of the trace elements correlated to aluminium represented in  $\log_{10}$  of [element]/ $[\text{Al}_2\text{O}_3]$ . Geological samples are represented by black symbols. Archaeological sites: Da, Darion "Colia"; FHC PCN, Fexhe-le-Haut-Clocher "Podrî l'Cortri"; HDB, Hollogne "Douze Bonniers"; OZ, Oleye "Al Zèpe"; Rem BFII, Remicourt "En Bia Flo" II; VW, Vieux-Waleffe "Framaset"; War Vin, Waremme "Vinâve"; WLP, Waremme "Longchamps". Geological sites: Huy, Spy, Waret.

La recherche des différences entre les hématises oolithiques mises au jour sur les sites du Néolithique ancien de Hesbaye (LBK) a été menée en tentant de les distinguer à partir des concentrations en éléments majeurs, mineurs et traces et en mettant en évidence les proportions relatives des différentes phases minérales, qui sont indicatrices de la position géographique des OIS au sein d'une coupe théorique allant, du nord au sud, d'une hématite oolithique marquée par une forte contribution détritique terrigène et de fragments de fossiles sur le flanc nord du Synclinorium de Namur, à une hématite oolithique riche en oxydes de fer à oolithes jointives avec une faible contribution détritique et des carbonates et phosphates de calcium sur le flanc sud de Synclinorium de Namur, jusqu'au flanc nord du Synclinorium de Dinant fournissant des hématises oolithiques à la fois plus riches en calcium (fossiles et ciment calcitique) et plus pauvres en éléments terrigènes.

Par ailleurs, en individualisant la contribution en éléments mineurs et traces de chaque phase au sein des OIS, il devient possible de tester la composition des assemblages archéologiques et leurs relations avec les sources géologiques d'OIS. Le vanadium, seul élément isolé dépendant du fer indique que les assemblages des sites LBK hesbignons sont issus de la même formation, ce qui est renforcé par la mesure du rapport  $[P]/[Ca]$ . L'essentiel des OIS employées durant le LBK révèle une large palette de matières premières aux teneurs en oxydes de fer variables. Cependant, deux objets archéologiques se distinguent de cet ensemble : Da20 (Darion) et HDB13 (Holloigne « Douze Bonniers »). Les analyses menées en PIXE sur les OIS de Hesbaye révèlent un corpus archéologique qui correspond à la grande variabilité compositionnelle des OIS hesbignonnes. Les comparaisons d'objet à objet ou même de site à site ne sont pas possibles en l'état, car il faudrait multiplier les mesures afin d'obtenir une représentativité satisfaisante de l'hétérogénéité de chaque objet archéologique et de chaque assemblage archéologique, qu'il faudrait alors comparer à un corpus fourni de références géologiques.

#### 4. CONCLUSIONS

Les analyses pétrographiques, minéralogiques, diffractométriques et chimiques permet-

tent de caractériser les OIS issus des sites LBK de Hesbaye et des sites néolithiques anciens des sources de la Dendre. Les sites d'habitat sont tous situés en-dehors des zones d'affleurement des OIS, ce qui implique un déplacement vers les affleurements. Les résultats montrent une grande homogénéité compositionnelle de ces OIS qui ne se différencient les unes des autres que par la proportion relative de la matrice détritique par rapport à la richesse en ooïdes ferrugineuses. Il n'y a pas de différence entre les OIS de Hesbaye et des sources de la Dendre. Pour la Hesbaye liégeoise, on n'observe pas non plus de différences significatives d'un site à l'autre, ni entre les phases pionnières et les phases ultérieures d'occupation, ce qui pourrait signifier qu'à leur arrivée, les pionniers connaissaient déjà les gisements exploitables. Pour ce dernier point, il faudra refaire le même examen pour les matériaux rouges non-oolithiques.

On notera le tri effectué par les préhistoriques, retenant majoritairement les matériaux les plus riches en ooïdes ferrugineuses, à ooïdes fines et très pauvres en fossiles. Les rubanés semblent avoir collecté leur matière première ferrugineuse dans un seul niveau stratigraphique et dans un nombre limité de couches. Les variations lithologiques et compositionnelles observées sont d'un même ordre de grandeur que celles rencontrées dans les couches à l'affleurement.

Les résultats analytiques excluent totalement que les OIS trouvées sur les sites rubanés hesbignons proviennent des couches d'OIS de Basse-Normandie (FR), du Massif Schisteux Rhénan (DE) ou des OIS belges (Dévonien inférieur à supérieur) des synclinoria de Dinant et de Verviers. La source géologique des artefacts correspond aux couches d'OIS d'âge Famennien inférieur affleurantes sur le flanc sud du Synclinorium de Namur. Géographiquement parlant, la zone est circonscrite entre Loyable et Amay, séparés par une distance d'environ 3 km, sur la rive droite de la Meuse. Les distances à parcourir pour s'approvisionner sont relativement faibles pour les groupes hesbignons (entre 10 et 20 km) et plus grandes pour les groupes maastrichtois (environ 30 km) et hennuyer (près de 120 km). La diversité des OIS trouvées sur les trois sites des sources de la Dendre est moins grande, indiquant une collecte de blocs dans une couche unique plutôt que dans un faisceau de couches, fragmen-

tés ensuite et distribués dans les différents villages. Il n'est pas possible de préciser si un seul site géographique a été exploité ou plusieurs, la variabilité latérale au sein des couches est aussi grande (relative) à l'échelle d'un affleurement que d'un affleurement à l'autre.

Si les couches sont plus nombreuses, plus épaisses et affleurent sur une plus grande largeur (compte tenu de la faible inclinaison des couches) sur le flanc nord que sur le flanc sud du Synclinorium de Namur, on aurait pu s'attendre à ce que les couches d'OIS affleurant sur le flanc nord du Synclinorium de Namur soient privilégiées. Cependant, les OIS de ce flanc renferment des couches souvent plus grossières avec des intraclastes de plus grande taille. A l'opposé, les couches d'OIS du flanc sud sont moins nombreuses, plus minces et plus inclinées mais, par contre, les OIS sont plus homogènes que sur le flanc nord. Les artefacts en OIS ne présentent pas la diversité telle qu'elle est représentée par le flanc nord, indication supplémentaire du choix des affleurements du flanc sud du Synclinorium de Namur. Ceux-ci affleurent bien dans quelques sites, sur la rive gauche de la vallée de la Meuse, surtout de Huy à Amay. Les affleurements sur le flanc nord étaient de hauteur moindre, rarement rafraîchis et, probablement, plus altérés ; ces différents facteurs les rendaient peut-être moins facilement repérables dans le paysage même si, dans ces sites, les terres au toit des couches apparaissaient colorées de rouges, ce qui aurait pu (dû) attirer l'attention des chercheurs préhistoriques en quête de matières utiles. La présence, à l'époque, d'un couvert forestier probablement très dense n'est probablement pas étrangère à cet état de fait.

Il semble donc qu'il y ait un nombre minimum de sites qui aient pu être exploités par les Rubanés, au sud de la zone d'habitat hesbignon. Il en est probablement de même pour les sites rubanés néerlandais, en l'absence de source géologique d'hématite où que ce soit en Hollande. Quant aux OIS trouvées sur les sites des sources de la Dendre, les affleurements d'OIS du Famenien inférieur les plus proches sont à plus de 60 km de distance à vol d'oiseau dans la vallée de l'Orneau. Les résultats analytiques nous permettent cependant de conclure que les préhistoriques de ces sites se sont approvisionnés sur les mêmes lieux que les hesbignons et les maastrich-

tois ouvrant ainsi la discussion sur les échanges entre les différents groupes LBK. Les OIS exploitées sur les sites hesbignons traduisent la variabilité des OIS présentes sur le flanc sud du Synclinorium de Namur. La forte proximité chimique des OIS exploitées par les habitants des sources de la Dendre, identifiée par fluorescence-X portable, nous conduit à conclure qu'une zone plus restreinte du flanc sud du Synclinorium de Namur a fourni ces matières premières, ce qui revient à affirmer que les OIS ont été extraites toujours en un même lieu. Se posent ainsi la question de savoir si l'extraction d'OIS n'était pas contrôlée soit par une restriction de l'accès aux ressources, soit par une diffusion sélective.

Les assemblages d'OIS archéologiques étudiées traduisent une forte permanence de l'exploitation de ces matières présentant les mêmes propriétés mécano-chimiques (mêmes caractéristiques compositionnelles et pétrographiques) au cours du temps dans une vaste région (environ 100 km des sources de la Dendre à la région de Maastricht). Ces stratégies d'exploitation des hématites oolithiques révèlent ainsi les mêmes choix opérés à la source durant le Néolithique ancien. Ces résultats suggèrent qu'il existait une tradition fortement ancrée qui traduirait des échanges importants dans une vaste aire géographique au sein de laquelle étaient partagés les mêmes codes et les mêmes matières premières.

Notons, de plus, que d'autres matériaux rouges non oolithiques ont été découverts sur les sites rubanés de Hesbaye liégeoise (en cours d'étude) et de la région de Maastricht. On trouve dans quelques sites hesbignons : a) des grès ferrugineux issus probablement de l'oxydation de sables tertiaires marins riches en glauconie et cimentés par de la goethite ou de l'hématite et b) des hématites noires ou noires et rouges, de densité apparente élevée et à aspect bréchi. Ces dernières sont d'ailleurs peu nombreuses, de plus grande taille que les artefacts en OIS et portent toutes des traces d'usure telles que des facettes et des stries. Si les premiers sont fréquents dans les provinces belges du Brabant, les secondes trouveraient leur source en Allemagne (*recherche en cours, résultats à publier*), pouvant indiquer un échange entre la Hesbaye et une région située plus à l'est (distance supérieure à 250 km). L'économie des matières premières colorantes nous apparaît donc élaborée et complexe.

Finalement, trois matériaux rouges différents ont été exploités sur les sites LBK de sources sub-locale, régionale et extra-régionale. Les raisons de ces stratégies d'approvisionnement mériteront d'être questionnées, à savoir si ces différentes matières premières sont dotées de propriétés physico-chimiques différentes (mécaniques, visuelles, texturales, asséchantes en particulier), si la teinte et la propension à être réduite en poudre de telle ou telle manière varient d'une matière à l'autre, si l'exploitation de ces différentes matières premières reflète des utilisations dans des champs d'activités différentes ou si certaines matières étaient dotées d'un statut particulier en fonction de leur origine proche ou lointaine. Rappelons à ce titre que les herminettes rubanées sont sans exception façonnées en roches exogènes autres que le silex, pourtant abondant sur place.

### Remerciements

Les auteurs remercient les collègues Iradj Eschgi et Alfred Katsch, anciens collaborateurs du Prof. W. Kasig (RWTH à Aachen), qui nous ont guidés sur les coupes allemandes afin de prélever des échantillons représentatifs. Nous remercions aussi les reviewers Émilie Chalmin (Université de Savoie, FR) et Pierre-Yves Declercq (SGB-IRSNB) pour leur relecture attentive et l'amélioration du manuscrit qui en a découlé.

### Bibliographie

- BOSQUET D. & GOLITKO M., 2012. Highlighting and characterizing the pioneer phase of the Hesbayan LBK (Liege Province, Belgium). *In* : WOLFRAM S., STAUBLE H., CLADDERS M. TISCHENDORF Th. (dir.), *Siedlungsstruktur und Kulturwandel in der Bandkeramik, Beiträge der Internationale Tagung "Neue Fragen zur Bandkeramik oder Alles beim Alten ?!"*, Leipzig, 23-24. September 2010, Dresden, Landesmat für Archäologie, Arbeits- und Forschungsberichte zur sächsischen Bodendenkmalpflege, **25** : 91-106.
- BOSQUET D., CONSTANTIN C., GOEMAERE E., HAMON C., JADIN I. & SALOMON H., 2016. Provenance, exploitation et utilisation de l'hématite oolithique au Néolithique ancien en Belgique. *In* : C. BILLARD et al. (éd.), *Autour de l'hématite / About haematite. Actes de / Acts of Jambes, 7-8/02/2013, Volume 1*, Liège, ERAUL, **143** - *Anthropologica et Præhistorica*, **125/2014** : 121-151.
- CONSTANTIN C., ALLARD P. & DEMAREZ L., avec la collaboration de AUXIETTE G., BAKELS C., FIRMIN G., KRAUSZ S., LUNDSTROM-BAUDAIS K., MUNAUT A.-V., PERNAUD J.- M. et SALAVERT A., 2010a. Le site rubané d'Aubechies « Coron Maton » (Hainaut). Fouilles de 1984 à 2002. *Bulletin du Cercle Archéologique Hesbaye-Condroz*, **XXX** : 5-112.
- CONSTANTIN C., DERAMAIX I. & DEMAREZ L., avec la collaboration de BAKELS C., KRAUSZ S. & SALAVERT A., 2010b. Le site rubané de Ormeignies-Blicquy « La Petite Rosière » (Hainaut). *Bulletin du Cercle Archéologique Hesbaye-Condroz*, **XXX** : 113-174.
- CONSTANTIN C., LANCHON Y., FARRUGIA J.-P., DEMAREZ L. & DAUBECHIES M., avec la collaboration de BAKELS C., HACHEM L., LUNDSTROM-BAUDAIS K., OHNENSTETTER M., SALAVERT A. et SANTALIER D., 2010c. Le site blicquyen d'Irchonwelz « La Bonne Fortune » (Hainaut). Fouilles de 1983. *Bulletin du Cercle Archéologique Hesbaye-Condroz*, **XXX** : 245-281.
- DENAYER J., 2016. Iron ores of Southern Belgium: much more than hematite. *In* : C. BILLARD et al. (éd.), *Autour de l'hématite / About haematite. Actes de / Acts of Jambes, 7-8/02/2013, Volume 2*, Liège, ERAUL, **143** - *Anthropologica et Præhistorica*, **125/2014** : 39-49.
- DRAILY C., 2011. *La grotte Walou à Trooz (Belgique). Fouilles de 1996 à 2004. Volume 3, l'archéologie. Études et Documents*, Institut du Patrimoine Wallon.
- DREESEN R., SAVARY X. & GOEMAERE É., 2016. Definition, classification and microfacies characteristics of oolitic ironstones, used in the manufacturing of red ochre - a comparative petrographical analysis of Palaeozoic samples from France, Belgium and Germany. *In* : C. BILLARD et al. (éd.), *Autour de l'hématite / About haematite. Actes de / Acts of Jambes, 7-8/02/2013, Volume 1*, Liège, ERAUL, **143** - *Anthropologica et Præhistorica*, **125/2014** : 203-223.
- GOEMAERE É. & HURFORD A. J., 1997. Un paléoplaceur dans la Formation d'Évieux (Famennien supérieur) à Durnal, vallée du Bocq, Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, **120** (2) : 133-143.
- GOEMAERE É., JUNGELS C. & HAUZEUR A., 2013. Oolitic ironstones from Spy cave. *In* : ROUGIER

- H. & SEMAL P. (éd.): *"Spy Cave, 125 years of multidisciplinary research at the Bette aux Rotches (Jemeppe-sur-Sambre, Province of Namur, Belgium)"*, Volume 1, *Anthropologica et Præhistorica*, **123/2012** : 151-166.
- GOEMAERE É., KATSCH A., ESCHGHI I. & DREESEN R., 2016. Geological record and depositional setting of Palaeozoic oolitic ironstones in Western Europa. In : C. BILLARD et al. (éd.), *Autour de l'hématite / About haematite. Actes de / Acts of Jambes, 7-8/02/2013, Volume 1*, Liège, ERAUL, **143** - *Anthropologica et Præhistorica*, **125/2014** : 23-43.
- HAMON C., BILLARD C., BOSQUET D., CONSTANTIN C. et JADIN I., 2016. Usages et transformation de l'hématite dans le Néolithique ancien d'Europe du Nord-Ouest. In : C. BILLARD et al. (éd.), *Autour de l'hématite / About haematite. Actes de / Acts of Jambes, 7-8/02/2013, Volume 1*, Liège, ERAUL, **143** - *Anthropologica et Præhistorica*, **125/2014** : 45-61.
- HAUZEUR A. & JADIN I., 2011. [Une question, des méthodes d'investigation.] Rubané, Omalien, Céramique linéaire... Que de noms pour les premières communautés paysannes de nos régions. In : HAUZEUR A., JADIN I. & JUNGELS C. (dir.), *5000 ans avant J.-C., La grande migration ? Le Néolithique ancien dans la Collection Louis Éloy*. Catalogue d'exposition du Musée de Préhistoire de Ramioul, Collection du Patrimoine culturel, n° **3**, [Bruxelles], Fédération Wallonie-Bruxelles : 15-17.
- JADIN I., 2003. 5.1. - Le Blicquiens dans le paysage. Le Secteur blicquien de Darion. In : *Trois petits tours et puis s'en vont.. La fin de la présence danubienne en Moyenne Belgique*. 2<sup>e</sup> édition, Études et Recherches Archéologiques de l'Université de Liège (ERAUL), n° **109**, Liège : 393-492.
- LIVINGSTONE SMITH A. (dir), 2012. *Habitat du Néolithique ancien en Hainaut occidental (Ath et Belœil, Belgique) : Ormeignies « Le Pilon » et Aubechies « Coron Maton »*. Namur, Études et Documents (Archéologie), **18** : 278 p.
- WIJNEN J., 2013. *Characterization of red ochre in the Dutch Linearbandkeramik*. Thèse de Maîtrise, Leiden Universiteit, téléchargeable librement sur le Web (<https://openaccess.leidenuniv.nl/handle/1887/21264>).
- WIJNEN J., 2014. Karakterisatie van rode oker (hematiet) in de Nederlandse Bandkeramiek. In : I. VAN WIJK, L. W. S. W. AMKREUTZ & P. VAN DE VELDE (éd.), *"Vergeten' Bandkeramiek: een Odyssee naar de oudste neolithische bewoning in Nederland"*. Leiden: Sidestone Press : 457-475.

## Adresse des auteurs :

Éric GOEMAERE  
Roland DREESEN  
Institut royal des Sciences  
naturelles de Belgique  
DO Terre et Histoire de la Vie  
Service géologique de Belgique  
13, rue Jenner  
1000 Bruxelles (Belgique)  
eric.goemaere@naturalsciences.be  
roland.dreesen@telenet.be

Hélène SALOMON  
Service de Préhistoire, F.R.S.-FNRS  
Université de Liège  
7, place du XX août  
4000 Liège (Belgique)  
helene.salomon@ulg.ac.be

Guirec QUERRÉ  
Université de Rennes 1  
Laboratoire Archéosciences Rennes  
CReAAH - UMR6566 CNRS  
263, avenue du Général Leclerc  
Campus de Beaulieu - CS 74205  
35042 Rennes Cedex (France)  
guirec.querré@univ-rennes.fr

François MATHIS  
Université de Liège  
Centre Européen d'Archéométrie  
10, Allée du 6 Août, Sart Tilman  
4000 Liège (Belgique)  
francois.mathis@ulg.ac.be

Caroline HAMON  
Chargée de recherche CNRS  
UMR 8215 Trajectoires  
Maison de l'archéologie et de l'ethnologie  
21, allée de l'Université  
92023 Nanterre cedex (France)  
caroline.hamon@mae.cnrs.fr

Claude CONSTANTIN  
16, Clos de Verrières  
91370 Verrieres-le-Buisson (France)

Dominique BOSQUET  
SPW-DGO4 Service de l'archéologie  
Direction extérieure du Brabant wallon  
88, rue de Nivelles  
1300 Wavre (Belgique)  
dominique.bosquet@spw.wallonie.be

Joost WIJNEN  
Afdeling Geologie  
200e, Celestijnenlaan – bus 2410  
3001 Leuven (Belgie)  
j.wijnen@kuleuven.be

Ivan JADIN  
Institut royal des Sciences  
naturelles de Belgique  
DO Terre et Histoire de la vie  
Anthropologie & Préhistoire  
29, rue Vautier  
1000 Bruxelles (Belgique)  
ivan.jadin@naturalsciences.be

<i>Gisements archéologiques</i>		<i>ppm</i>											
<i>Éch.</i>	<i>Sources de la Dendre</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>
85	Aub «CM»st140-6118		110915	173339	5498	8725	7532	1695	1492	507138	733	575	543
86	Aub «CM»st140-6120		68045	71086	5639	3768	7467	1227	1286	573145		682	585
87	Aub «CM»st162-6782		104489	154273	3028	11486	4144	2349	961	488776		626	492
88	Aub «CM»st162-6794		29838	27506	6041	2263	5265	866		597929		705	479
81	Blicq «PR» St27-3337		89942	113020	3971	5541	5675	1341	1572	556869		606	570
79	Blicq «PR» St27-3775		73040	75674	3717	4248	6538	1163	599	579060	90	699	506
91	Blicq «PR» St29-3121		90929	110493	10455	12653	10514		1902	543874	1288		
89	Blicq «PR» St29-4122		78834	161414	7594		7100	1687	522	485855	1319		
80	Blicq «PR» St29-4219		101139	94633	4596	5101	8060	1105	2672	556787	129	615	449
90	Blicq «PR» St29-4220		82072	146092	4316		4567	1729	1643	526487	1220		
92	Blicq «PR» St29-818		100220	194089	5276	12661	7936		1305	509064	857		
77	Blicq «PR» St6-1833	29047	69185	95602	4880		7505		1338	557914	1420		
78	Blicq «PR» St7-610		64701	66793	14632	4528	18356	1060	1790	526130	328	642	454
82	Irch «BF»-11738		71233	79653	5363	4249	11246	1344	949	567116	1296	658	535
11	ORM/93/PIL-95		84395	87165	3317	7937	6098	1091	753	535181		508	563
12	ORM/93/PIL-94		91455	118063	3695	4585	4819	1346	591	572987	158	676	585
75	ORM/93/PIL-102	21957	125234	225592	7804	48615	22649	2001	317	122109	775		11648
76	ORM/93/PIL-89	2389	65466	84844	5025		8039		953	605725	1146		
7	ORM/PIL/93-90		81195	155445	4666	8279	9486	1821	2467	466054		651	460
22	ORM/PIL/93-100		110832	221905	3380	12087	6671	2267	3480	415052	364	406	370
<i>Éch.</i>	<i>Hesbaye</i>	<i>Mg</i>	<i>Al</i>	<i>Si</i>	<i>P</i>	<i>K</i>	<i>Ca</i>	<i>Ti</i>	<i>Mn</i>	<i>Fe</i>	<i>S</i>	<i>V</i>	<i>Cr</i>
29	HDB-10-IJ		76676	70329	6817	12102	8399	1688	2111	473760		370	516
30	HDB-11-IJ		70684	124569	11063	10917	13888	1777	1712	379287		569	425
38	OZ-12		88094	96011	8105	10690	12215	1385	2257	467612		441	510
26	HBD89029-15		88035	99944	3386	6396	8226	1157	685	535254		630	463
28	Darion-81-19		79372	83714	2478	5034	5497	1157	252	555750		686	537
21	Darion-81024c-23		92287	133152	9223	6437	16182	1493	441	540466	1729	637	523
27	VW89047-3		55631	112488	5989	4081	16190	1482	1090	409150	143	456	405
44	HDB-6		73788	70557	5553	9950	6934	1907	4017	486269		504	538
16	FHC-104		122371	122572	5136	7342	13404	1347	740	531384	710	562	556
19	FHC-102		108195	159999	11800	8636	25116	1628	225	480527	635	512	512
22	FHC-100		123951	173368	9251	9291	17907	1840	350	463582		487	564
67	FHC-106		90552	106770	11116	5321	10764	1186		578338	121	649	634
69	FHC-105		72464	70015	7013	4813	13009	882	611	569472	213	638	600
71	FHC-101		116787	176312	9785	8148	12359	1597	1429	495229		638	573
17	HDB-13-IJ		71121	256716	54701	10678	91113	2483	803	181501	860	126	294
32	OZ87-16		57763	51193	3706	5326	5609	783	959	561438		668	536
33	Darion-22		71376	69323	6293	7229	13310	1208	334	520223		794	636
48	Darion-26		65085	157917	1850	5116	4575	4020	643	336580	521	315	355
14	Rem-112		63640	70689	2329	4617	4396	1109		579860		625	562
7	Rem-114		82160	92755	5272	5486	6418	1192	1425	578312		651	604
21	Rem-109		73678	90026	6221		7845		259	580749	1503		
26	Rem-110		68850	74325	44156	7978	71361	828	1591	431029	334	510	510
27	Rem-113		66570	63607	5541	5776	6069	806	1787	555131		613	603
50	Rem-124		54599	50747	3513	2969	7364	1210	334	577274		827	627
51	Rem-119		64050	60580	13655	5096	8736	906	3214	560145		553	611
61	Rem-123		86246	107882	1402	10699	4555	1634	880	500922		563	547
62	Rem-116		46400	45492	5267	2813	9569	845	368	578456	127	614	549
15	War-126		117835	186257	2555	4029	3161	3794	468	347670	130	506	578
24	War-125	30548	95283	110442	6469		11882		943	585123	1290		
74	WAR-96VIN-127	23708	82584	120109	4729		6709	1699	1477	564266	1806		
45	WAR-96-VIN-135		103292	126834	2699	6502	6062	1199	831	563201		643	606
18	WLP-138		54755	78370	4836	5694	9086	1205	234	549525		645	558
23	WLP-136		83673	148518	11838	15635	14352	1754	1484	309979		336	386
49	WLP-137		85219	98622	27868	9475	56718	1163	688	421165	277	542	498
60	WLP-139		71959	83227	9439	4843	19948	1050	1157	515810	217	601	510
64	WLP-140		81672	209969	578	6596	1702	719	441	426867		240	347

Gisements géologiques		ppm												
Éch.	Belgique	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
73	EG-02	25	23	8	63	19		140		288	341	669		
35	EG-03	53	61	64	53	101	9	174	50	621	420	789	44	
57	EG-04	77		30	86	81	17	166	63	387	390	811	97	25
59	EG-05	56		24	48	275	12	176		405	342	675	64	15
70	EG-07	33		54	39	77	7	145		540	347	711	47	
58	EG-08	25		13	96	18	4	129		305	274	589		
56	EG-09	24		12	92	24	4	135		301	337	616		
54	EG-10	61	51	125	67	131	14	130		484	382	650		13
47	EG-11	54	30	23	242	46	7	135	48	418	378	685		
53	EG-13			14	72	66	10	114		259	320	541		7
40	EG-14	55	35	108	57	149	14	128		558	374	680	29	10
37	EG-16				153	6		101		215	268	522		
52	EG-18			49	49	126	23	197		341	471	905	137	25
46	EG-19	59		7	222	103	10	151	45	378	279	619	19	10
3	EG-20	48	99	59	82	77	11	181	52	310	371	757	41	
24	EG-21	84	50	95	141	143	23	151		827	446	802	30	26
9	EG-22	28			52	51	5	115		258	343	566		
31	1-ESJ - Tchèque	51		15	111	41	11	169		503	345	567	74	
23	Grand-Duché LUXBG-1	160	213		293	83	15	172		294	452	790	42	
Éch.	Allemagne	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
68	EG-01 (Lissingen)	33	90	33	119	71	10	162		277	349	603		9
63	HAM-01 (Eifel)	21	149	17	161	204	9	141	42	309	305	554		12
20	HAM-02 (Eifel)	26		7	201	144	7	143		246	320	659		
34	HAM-03 (Eifel)		31		172	86	7			234	268	449		
18	OBA-01 (Eifel)	27	33	18	276	115	6	158		320	344	667		
42	OBA-02 (Eifel)	36	54	15	312	113	18	174		368	395	857		9
72	OBA-03 (Eifel)	18	30	10	375	138	11	131		262	346	684		
19	OBA-04 (Eifel)	25	39	5	338	154	5	141	41	295	316	587		
25	OBA-05 (Eifel)	17		8	294	129	7	151	40	290	351	676	13	10
41	OBA-07 (Eifel)	31	55	10	337	132	9	138	39	275	376	601		13
55	OBA-09 (Eifel)		27	12	292	123	8	127		225	321	587		
13	OBA-6A (Eifel)	19	45		386	96	6	121		291	374	657		
10	REE-01 (Eifel)		36	5	283	92	6	123		214	304	512		
43	ROH-01 (Eifel)	28	52	12	337	112	12			159	172	343		
39	SCH-01 (Eifel)	22		5	152	103	6				267	460		
65	STA-01 (Eifel)	56	77	9	147	109	6	132		261	353	623		

**Tab. 6-1** – Résultats analytiques (éléments majeurs et mineurs) bruts obtenus par XRF portable sur échantillons géologiques et archéologiques. Case vide = valeurs sous la limite de détection.

**Tab. 6-1** – HH-XRF raw analytical results (major and minor elements) obtained on geological and archaeological samples. Empty box = values below the limit of detection (LD).

Gisements archéologiques		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm								
Éch.	Sources de la Dendre	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
85	Aub «CM»-6118	87		82	43	139	9	227		391	346	762	167	
86	Aub «CM»-6120	66		33	69	80	12	217		396	440	944	224	
87	Aub «CM»-6782	88	130	80	56	134	14	200		527	481	869	120	36
88	Aub «CM»-6794			54	37	70	10	190		339	458	833	205	37
81	Blicq «PR»-3337	71		52	30	98	10	199		355	363	702	235	
79	Blicq «PR»-3775	75		63	36	83	10	208		418	458	963	176	
91	Blicq «PR»-3121	97	88	27	295	77	14	241		374	386	703	254	82
89	Blicq «PR»-4122	63	51	19	322	109	14	266		387	377	630	109	
80	Blicq «PR»-4219	67		46	60	90	18	186		517	445	834	218	
90	Blicq «PR»-4220	54	79	23	268	127	13	235	67	290	371	545	79	125
92	Blicq «PR»-818	38	51	23	339	137	12	194		190	178	410	108	121
77	Blicq «PR»-1833	63		20	272	74	11	229	78	345	404	572	210	132
78	Blicq «PR»-610	91		45	98	79	12	170	67	487	365	769	136	
82	Irch «BF»-11738	86		38	74	83	10	190		431	387	756	219	29
11	ORM/93/PIL-95	110		62	39	88	9	230	99	459	476	814	203	
12	ORM/93/PIL-94	86	195	58	38	105	10	206	77	353	410	844	190	33
75	ORM/93/PIL-102	77	44	95	759	112	20			565	173	294		74
76	ORM/93/PIL-89	53		23	298	92	14	251		278	290	593	148	
7	ORM/PIL/93-90	65		63	71	148	11	177		377	351	683	147	24
22	ORM/PIL/93-100	119	165	80	62	309	15	189		434	364	752	89	
Éch.	Hesbaye	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
29	HDB-10-IJ	111	120	72	78	71	10	174	65	594	432	821	132	
30	HDB-11-IJ	85		79	113	127	12	143		715	363	728	133	
38	OZ-12	118		71	60	84	13	168		497	393	730	93	19
26	HBD89029-15	99		56	48	86	7	185	72	333	422	750	214	37
28	Darion81-19	55		71	44	87	11	214		345	505	823	273	25
21	Darion-81024c-23	100		57	82	86	19	174	78	287	364	781	218	
27	VW89047-3	72		43	142	201	23	119	53	404	354	766	107	
44	HDB-6	105		79	66	74	12	162		516	288	669	166	
16	FHC-104	66		55	59	94	10	206		277	307	770	229	48
19	FHC-102	115		71	117	147	16	221		421	511	872	130	25
22	FHC-100	120		74	88	161	17	188	67	493	430	903	141	
67	FHC-106	82		76	60	68	11	220		322	380	754	273	35
69	FHC-105	73		57	85	79	12	229	76	455	402	859	230	
71	FHC-101	186	666	60	63	155	12	197		309	361	708	144	
17	HDB-13-IJ	116		64	235	192	33	137		559	431	903	37	13
32	OZ87-16	55		41	36	73	12	182		232	310	831	166	31
33	Darion-22	54		65	62	135	17	159		375	361	772	170	50
48	Darion-26			49	49	164	15	157		515	337	761	99	
14	Rem-112	58		56	35	74		224	80	393	475	841	193	36
17	Rem-114	70		33	37	78		216		357	342	736	181	
21	Rem-109	61		22	286	60	13	208		203	310	562	99	152
26	Rem-110	83		57	187	72	35	135		278	317	783	153	25
27	Rem-113	85		39	39	68		187		549	440	747	137	
50	Rem-124	46		54	42	82	16	255	72	382	477	912	189	
51	Rem-119	94		44	53	79	12	203		404	329	797	226	
61	Rem-123	81		83	33	96	14	164		255	320	740	156	22
62	Rem-116	60		39	61	70	13	206	65	365	400	954	176	44
15	War-126	37		43	36	118	14	157	64	401	411	637	74	
24	War-125	74		30	422	59	11	217		264	299	569	111	159
74	WAR-96VIN-127	82		21	316	56	11	231		224	271	529	169	258
45	WAR-96-VIN-135	86		59	43	118	9	213		338	375	782	224	
18	WLP-138	64		39	47	113	11	201		319	421	794	167	36
23	WLP-136	110		94	393	97	19	141	50	1181	398	845	78	
49	WLP-137	81		69	190	109	40	234	69	502	593	1571	101	39
60	WLP-139	72		36	87	114	19	207		351	478	1092	138	29
64	WLP-140	40		27	10	171	26	176		347	349	699	107	

Gisements géologiques		ppm												
Éch.	Belgique	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
73	EG-02	25	23	8	63	19		140		288	341	669		
35	EG-03	53	61	64	53	101	9	174	50	621	420	789	44	
57	EG-04	77		30	86	81	17	166	63	387	390	811	97	25
59	EG-05	56		24	48	275	12	176		405	342	675	64	15
70	EG-07	33		54	39	77	7	145		540	347	711	47	
58	EG-08	25		13	96	18	4	129		305	274	589		
56	EG-09	24		12	92	24	4	135		301	337	616		
54	EG-10	61	51	125	67	131	14	130		484	382	650		13
47	EG-11	54	30	23	242	46	7	135	48	418	378	685		
53	EG-13			14	72	66	10	114		259	320	541		7
40	EG-14	55	35	108	57	149	14	128		558	374	680	29	10
37	EG-16				153	6		101		215	268	522		
52	EG-18			49	49	126	23	197		341	471	905	137	25
46	EG-19	59		7	222	103	10	151	45	378	279	619	19	10
3	EG-20	48	99	59	82	77	11	181	52	310	371	757	41	
24	EG-21	84	50	95	141	143	23	151		827	446	802	30	26
9	EG-22	28			52	51	5	115		258	343	566		
31	<i>1-ESJ - Tchèque</i>	51		15	111	41	11	169		503	345	567	74	
23	<i>Grand-Duché LUXBG-1</i>	160	213		293	83	15	172		294	452	790	42	
Éch.	Allemagne	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
68	EG-01 (Lissingen)	33	90	33	119	71	10	162		277	349	603		9
63	HAM-01 (Eifel)	21	149	17	161	204	9	141	42	309	305	554		12
20	HAM-02 (Eifel)	26		7	201	144	7	143		246	320	659		
34	HAM-03 (Eifel)		31		172	86	7			234	268	449		
18	OBA-01 (Eifel)	27	33	18	276	115	6	158		320	344	667		
42	OBA-02 (Eifel)	36	54	15	312	113	18	174		368	395	857		9
72	OBA-03 (Eifel)	18	30	10	375	138	11	131		262	346	684		
19	OBA-04 (Eifel)	25	39	5	338	154	5	141	41	295	316	587		
25	OBA-05 (Eifel)	17		8	294	129	7	151	40	290	351	676	13	10
41	OBA-07 (Eifel)	31	55	10	337	132	9	138	39	275	376	601		13
55	OBA-09 (Eifel)		27	12	292	123	8	127		225	321	587		
13	OBA-6A (Eifel)	19	45		386	96	6	121		291	374	657		
10	REE-01 (Eifel)		36	5	283	92	6	123		214	304	512		
43	ROH-01 (Eifel)	28	52	12	337	112	12			159	172	343		
39	SCH-01 (Eifel)	22		5	152	103	6				267	460		
65	STA-01 (Eifel)	56	77	9	147	109	6	132		261	353	623		

**Tab. 6-2** – Résultats analytiques (éléments mineurs) obtenus par XRF portable sur échantillons géologiques et archéologiques. Case vide = valeurs sous la limite de détection.

**Tab. 6-2** – HH-XRF analytical results (minor elements) acquired on geological and archaeological samples. Empty box = values below the detection limit.

Éch.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Mn	Fe	S	V	Cr
<i>Sources de la Dendre (échantillons archéologiques)</i>												
85	26697	4600	1523	245	364	280	122	132	4631	56	85	74
86	26562	3640	993	208	273	274	122	133	5523	83	90	83
87	25296	4366	1440	219	393	233	128	120	4309	90	86	71
88	26149	2584	610	189	222	226	110	235	5976	82	84	77
81	27487	4286	1279	214	311	251	126	136	5267	93	90	82
79	27025	3760	1025	189	283	260	122	123	5626	44	90	83
91	21346	3216	2342	328	5218	1890	1433	141	6393	86	7603	8356
89	23286	3148	3386	313	11108	1959	730	118	5769	100	7673	8498
80	27476	4525	1167	214	302	285	124	152	5284	47	91	85
90	20614	3014	3072	233	10792	1910	712	135	6178	86	7500	8326
92	20789	3414	3971	271	5655	2042	1535	128	5910	81	8104	8900
77	11073	2825	2222	225	11068	1949	1469	135	6924	89	7763	8635
78	27294	3544	944	289	282	396	122	137	4855	50	89	80
82	28709	3822	1061	214	285	327	129	130	5537	62	93	83
11	26660	3984	1100	193	360	267	121	122	5040	87	87	80
12	26076	4191	1287	204	292	234	125	123	5528	45	91	82
75	6581	3161	2957	299	3728	1492	545	70	831	89	5621	2983
76	10546	2719	2001	217	10879	1932	1467	134	7830	78	7806	8632
7	24753	3851	1436	238	359	308	125	137	3937	93	87	78
22	24073	4365	1649	249	387	260	121	149	3395	53	79	68

<i>Hesbaye (échantillons archéologiques)</i>												
29	26753	3702	973	226	427	307	127	131	4011	90	85	80
30	22072	3247	1229	272	386	348	122	118	2949	90	84	72
38	26340	4025	1145	248	400	344	125	136	4026	94	86	77
26	26126	4062	1179	198	327	289	119	120	4982	91	87	79
28	26038	3830	1070	179	303	250	123	113	5175	82	90	82
21	30437	4512	1364	276	330	385	128	116	5009	71	91	81
27	21791	2887	1166	221	253	347	112	109	3216	45	77	69
44	25009	3661	995	216	393	282	127	159	4202	88	86	77
16	27677	5163	1338	241	342	350	121	118	4813	59	86	79
19	29764	4946	1485	317	360	461	124	107	4198	61	86	78
22	26889	5052	1512	293	364	388	127	105	3888	97	86	75
67	28962	4358	1218	273	311	325	129	230	5585	47	93	82
69	28188	3812	981	223	304	355	126	121	5439	47	93	84
71	27576	4880	1538	288	351	336	123	129	4421	94	86	73
17	26171	3829	1566	596	313	747	104	94	1333	77	62	53
32	28904	3406	852	183	310	251	120	125	5306	85	91	82
33	26729	3715	988	222	345	354	132	111	4683	92	97	83
48	18943	2949	1386	209	286	217	146	96	2482	53	87	72
14	27050	3590	1005	176	292	227	122	229	5543	89	89	82
17	28220	4178	1168	220	316	267	125	135	5580	89	91	84
21	25409	3237	2258	272	11769	2073	1568	119	7589	101	8298	9227
26	34385	4296	1050	523	330	741	115	123	3563	63	83	73
27	27973	3740	972	217	322	263	122	135	5146	87	91	84
50	27652	3370	855	182	266	283	127	120	5731	90	96	85
51	29271	3739	941	290	303	294	130	160	5354	92	94	83
61	27973	4218	1270	198	414	257	130	120	4544	99	90	82
62	25354	3080	797	195	252	305	122	122	5747	44	91	84
15	20012	4183	1516	231	252	183	134	92	2524	48	82	67
74	11842	3254	2828	241	11727	2054	774	142	7290	103	8159	9106
45	27054	4497	1323	200	330	260	122	122	5216	84	88	78
18	28326	3435	1068	212	313	299	119	114	5210	95	87	80
23	20487	3451	1324	293	426	342	115	104	2168	93	76	65
49	29895	4272	1136	408	355	660	117	109	3494	57	83	73
60	26447	3745	1069	255	294	417	121	126	4724	49	88	81
64	21148	3503	1606	211	318	174	97	101	3415	83	68	71

Éch.	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
	Mg	Al	Si	P	K	Ca	Ti	Mn	Fe	S	V	Cr
<i>Belgique (échantillons géologiques)</i>												
73	14789	2781	1063	482	171	1067	62	147	929	70	42	43
35	26978	3757	1238	215	374	719	111	131	2166	108	71	64
57	30808	3586	957	234	282	727	116	138	3227	56	84	77
59	22331	2050	1319	218	185	529	98	126	2988	59	74	69
70	24941	3295	1153	374	398	512	115	136	2933	102	77	70
58	14445	2796	991	244	176	1057	59	153	829	67	40	43
56	35757	3294	868	260	221	1436	80	132	1624	69	60	57
54	21467	4241	1410	220	502	280	113	103	2208	92	73	62
47	29388	3372	1117	304	210	1177	75	118	1262	69	51	49
53	23535	2766	1475	322	179	958	71	93	961	63	47	44
40	19063	3270	1366	215	415	420	98	105	1677	97	62	52
37	35438	5520	791	281	147	1862	90	104	576	83	34	39
52	28850	3398	1046	260	322	485	142	107	4252	51	104	82
46	37138	3783	990	272	192	1363	89	124	1746	72	62	59
3	31747	5892	1444	534	429	1104	114	112	2147	71	74	64
24	23440	5098	1599	289	460	415	122	155	2154	111	78	64
9	25185	3155	1151	225	192	922	90	111	1814	118	62	56

<i>Tchéquie (échantillon géologique)</i>												
31	34902	3198	773	359	198	941	121	135	4182	87	87	77

<i>Grand-Duché de Luxembourg (échantillon géologique)</i>												
23	27525	3120	1027	230	160	637	104	134	2843	138	79	67

<i>Allemagne (échantillons géologiques)</i>												
68	34870	3558	960	236	266	1225	90	173	1724	67	69	61
63	25210	2160	1371	276	155	1148	64	131	1051	72	47	47
20	25579	4152	1377	293	131	1436	42	166	418	77	31	78
34	26919	4500	1371	292	135	1465	48	137	688	77	36	42
18	27403	2266	1351	273	172	1219	67	190	1110	73	48	51
42	28214	4609	1397	298	176	1247	69	116	1134	78	51	52
72	28694	2410	1404	305	151	1517	51	163	608	82	39	44
19	20693	3613	1404	278	128	1152	48	117	734	74	36	43
25	25325	4105	1408	297	136	1446	42	172	386	80	32	78
41	24739	2124	1399	285	143	1253	57	108	889	76	43	46
55	26426	2256	1373	295	154	1481	48	169	519	78	37	42
13	27499	4561	1369	294	133	1498	47	117	567	79	34	80
10	26308	4265	1348	282	137	1482	47	118	657	76	36	41
43	24471	2155	1388	293	146	1365	52	148	651	78	39	45
39	25245	4073	1417	297	128	1371	40	126	495	78	31	78
65	23394	3966	1371	278	140	1279	54	162	593	75	39	42

Éch.	ppm												
	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
<i>Sources de la Dendre (échantillons archéologiques)</i>													
85	22	85	9	5	8	3	37	64	111	108	150	24	15
86	22	94	7	7	7	4	37	64	110	109	153	29	18
87	21	40	8	5	8	3	35	61	108	106	147	21	10
88	43	102	9	6	7	4	38	66	115	114	158	30	12
81	22	91	8	5	7	4	37	64	113	111	153	28	17
79	23	90	9	5	7	4	37	64	111	109	153	28	20
91	21	31	4	33	6	4	40	62	82	88	112	36	40
89	20	24	3	34	6	4	45	69	91	98	124	29	69
80	22	92	8	6	7	4	36	61	110	106	148	28	19
90	19	24	3	31	7	3	39	30	77	84	106	29	39

Éch.	ppm												
	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
<i>Sources de la Dendre (échantillons archéologiques)</i>													
92	17	24	3	33	7	3	39	60	79	85	107	28	38
77	20	59	3	33	6	4	40	31	80	87	109	36	44
78	22	81	7	7	7	4	35	31	110	106	148	23	18
82	24	94	8	7	7	4	37	63	113	110	152	29	11
11	24	90	8	5	7	4	36	32	109	107	148	27	16
12	24	54	9	5	8	4	36	32	108	107	149	28	11
75	10	8	3	25	3	2	63	34	49	49	61	14	17
76	22	61	4	38	7	4	39	60	79	85	108	38	82
7	19	75	7	6	8	3	34	59	104	102	141	21	8
22	20	34	7	5	10	3	33	56	99	97	135	17	14
<i>Hesbaye (échantillons archéologiques)</i>													
29	21	39	7	6	6	3	33	29	104	99	138	20	15
30	17	60	7	6	7	3	30	51	97	91	127	17	13
38	21	67	7	5	6	3	33	58	103	99	137	19	8
26	23	89	8	6	7	4	35	31	107	106	147	27	11
28	21	89	9	5	7	4	37	63	111	111	153	29	11
21	23	87	8	7	7	4	35	31	105	104	145	26	19
27	17	61	6	7	8	3	30	26	94	92	128	17	13
44	21	82	8	6	6	3	34	58	106	101	141	22	15
16	20	85	8	6	7	3	35	60	104	102	144	26	11
19	22	69	8	7	8	3	34	58	102	101	139	21	9
22	21	67	7	6	8	3	33	29	100	97	136	20	15
67	23	97	9	6	7	4	36	62	107	106	147	31	12
69	22	93	9	7	7	4	37	32	110	107	150	29	20
71	26	57	8	6	8	3	34	59	103	102	141	22	15
17	14	32	5	7	6	3	25	44	79	77	107	8	5
32	21	89	8	5	7	4	37	62	110	109	154	26	11
33	19	79	8	6	8	4	34	59	104	102	142	24	11
48	26	49	5	4	7	3	29	51	91	88	123	14	9
14	22	92	9	5	7	7	37	32	110	109	151	28	11
17	23	92	8	5	7	7	37	63	110	108	150	28	20
21	21	55	4	35	6	4	42	65	84	92	117	34	45
26	18	67	6	8	6	4	30	53	92	91	128	18	8
27	22	82	7	5	6	7	36	61	111	107	147	24	18
50	22	93	8	6	7	4	39	34	116	115	160	29	21
51	24	90	8	6	7	4	37	64	112	109	153	28	21
61	21	76	8	5	7	3	37	66	114	112	156	23	9
62	23	94	8	7	7	4	37	32	110	108	153	29	12
15	13	45	5	4	6	3	28	24	85	84	115	13	8
74	23	59	4	37	6	4	45	70	90	98	124	36	53
45	22	91	8	5	8	4	36	63	109	107	150	28	18
18	22	84	8	6	8	4	36	63	109	108	150	26	11
23	15	45	6	10	6	3	27	24	92	82	115	12	10
49	18	60	7	8	7	4	33	29	100	100	146	17	8
60	21	79	7	7	8	4	36	61	109	109	154	23	10
64	16	52	5	3	8	3	31	52	93	91	126	17	13
<i>Belgique (échantillons géologiques)</i>													
73	9	10	2	3	2	3	22	37	66	65	90	8	6
35	13	20	5	4	5	2	27	24	86	82	114	10	7
57	17	50	5	6	6	3	31	27	94	92	129	16	7
59	15	45	5	4	9	3	29	50	89	86	120	14	6
70	14	42	6	4	5	3	31	55	98	94	131	13	11
58	9	19	2	4	3	2	21	37	65	64	88	10	6
56	10	24	3	4	3	2	25	43	76	75	103	11	5
54	14	19	7	4	6	3	28	49	88	86	118	20	5
47	11	11	3	7	4	2	23	20	71	69	96	10	7

Éch.	ppm												
	Zn	As	Rb	Sr	Zr	Nb	Ag	Sn	Ba	La	Ce	Pb	Th
<i>Belgique (échantillons géologiques)</i>													
53	17	19	3	3	3	2	22	38	67	66	91	9	3
40	12	17	6	4	6	2	26	45	82	79	109	9	5
37	15	18	3	5	2	3	22	37	66	65	89	9	4
52	34	64	7	5	7	4	34	58	101	101	141	21	9
46	12	29	3	7	5	2	25	22	77	75	104	8	4
3	14	22	5	5	5	2	29	25	86	85	118	10	10
24	15	20	7	6	6	3	29	50	92	86	120	10	6
9	11	26	5	4	4	2	27	48	84	84	115	15	8
<i>Tchéquie (échantillon géologique)</i>													
31	18	58	5	7	5	3	35	60	107	103	141	17	11
<i>Grand-Duché de Luxembourg (échantillon géologique)</i>													
23	21	29	8	10	6	3	33	56	98	98	136	13	8
<i>Allemagne (échantillons géologiques)</i>													
68	11	17	4	5	4	2	26	45	78	78	107	15	4
63	9	15	3	5	6	2	23	20	70	68	94	11	4
20	8	19	2	5	5	2	21	35	62	61	85	9	6
34	17	10	4	5	4	2	133	36	65	64	87	8	6
18	10	11	3	7	5	2	24	40	71	70	97	10	6
42	10	12	3	8	5	2	24	40	71	70	98	10	4
72	8	11	3	8	5	2	21	37	64	64	88	10	7
19	9	11	2	7	5	2	22	19	65	64	89	8	7
25	8	20	2	7	5	2	21	18	63	62	86	5	3
41	9	12	3	8	5	2	22	19	67	67	92	9	4
55	16	10	2	7	5	2	22	37	64	64	88	8	6
13	8	10	4	8	4	2	21	36	63	63	87	9	6
10	17	10	2	7	4	2	22	38	66	65	90	8	6
43	9	11	2	7	5	2	86	35	62	61	84	9	6
39	8	17	2	5	4	2	140	36	125	63	86	9	6
65	10	12	2	5	4	2	21	37	64	64	88	9	6

**Tab. 7** – Valeurs des erreurs de mesures de l'équipement de fluorescence-X portable.

*Tab. 7* – Measurement error values for handheld X-ray fluorescence analysis.

XRF-Num	Gisements	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%MnO <sub>2</sub>	%CaO	%K <sub>2</sub> O	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%MgO
<i>Sources de la Dendre (échantillons archéologiques)</i>										
85	Aubechies « CM »-st140-6118	53,69	27,93	15,51	0,21	0,18	0,79	0,78	0,93	0,00
86	Aubechies « CM »-st140-6120	72,22	13,63	11,32	0,18	0,18	0,93	0,40	1,13	0,00
87	Aubechies « CM »-st162-6782	55,30	26,56	15,61	0,31	0,12	0,46	1,10	0,54	0,00
88	Aubechies « CM »-st162-6794	85,80	6,01	5,65	0,14	0,00	0,74	0,27	1,38	0,00
81	Blicquy « PR » St27-3337	64,19	19,82	13,69	0,18	0,20	0,64	0,54	0,73	0,00
79	Blicquy « PR » St27-3775	71,61	14,24	11,93	0,17	0,08	0,80	0,44	0,73	0,00
91	Blicquy « PR » St29-3121	62,38	19,28	13,77	0,00	0,24	1,19	1,22	1,91	0,00
89	Blicquy « PR » St29-4122	56,68	28,65	12,15	0,23	0,07	0,82	0,00	1,41	0,00
80	Blicquy « PR » St29-4219	64,88	16,78	15,57	0,15	0,35	0,93	0,50	0,85	0,00
90	Blicquy « PR » St29-4220	60,35	25,48	12,42	0,23	0,21	0,52	0,00	0,79	0,00
92	Blicquy « PR » St29-818	52,75	30,60	13,71	0,00	0,15	0,81	1,11	0,87	0,00
77	Blicquy « PR » St6-1833	66,00	17,21	10,81	0,00	0,18	0,88	0,00	0,92	4,01
78	Blicquy « PR » St7-610	69,08	13,34	11,22	0,16	0,26	2,38	0,50	3,06	0,00
82	Irchonwelz « BF »-11738	70,17	15,00	11,64	0,19	0,13	1,37	0,44	1,06	0,00
11	ORM/93/PIL-95	66,95	16,59	13,94	0,16	0,10	0,75	0,84	0,66	0,00
12	ORM/93/PIL-94	64,37	20,18	13,57	0,18	0,07	0,53	0,43	0,66	0,00
75	ORM/93/PIL-102	16,62	46,72	22,51	0,32	0,05	3,04	5,58	1,69	3,49
76	ORM/93/PIL-89	69,93	14,91	9,98	0,00	0,12	0,92	0,00	0,92	3,22
7	ORM/PIL/93-90	55,58	28,21	12,79	0,25	0,33	1,12	0,83	0,89	0,00
22	ORM/PIL/93-100	44,74	36,40	15,78	0,29	0,42	0,71	1,10	0,58	0,00
<i>Hesbaye liégeoise (échantillons archéologiques)</i>										
29	HDB-10-IJ	66,20	14,95	14,15	0,28	0,33	1,16	1,43	1,52	0,00
30	HDB-11-IJ	53,67	26,82	13,21	0,29	0,27	1,94	1,30	2,49	0,00
38	OZ-12	60,88	19,02	15,15	0,21	0,33	1,57	1,17	1,68	0,00
26	HDB-89029-15	64,91	18,44	14,10	0,16	0,09	0,98	0,65	0,65	0,00
28	Darion-81-19	69,19	15,86	13,05	0,17	0,03	0,67	0,53	0,49	0,00
21	Darion-81024c-23	59,83	22,43	13,49	0,19	0,05	1,77	0,60	1,62	0,00
27	VW-89047-3	59,67	24,96	10,72	0,25	0,18	2,33	0,50	1,39	0,00
44	HDB-6	67,36	14,87	13,50	0,31	0,62	0,95	1,16	1,22	0,00
16	FHC-104	58,43	20,51	17,77	0,17	0,09	1,45	0,68	0,90	0,00
19	FHC-102	52,24	26,47	15,53	0,21	0,03	2,69	0,79	2,04	0,00
22	FHC-100	49,64	28,25	17,53	0,23	0,04	1,89	0,84	1,58	0,00
67	FHC-106	64,65	18,16	13,37	0,15	0,00	1,19	0,50	1,98	0,00
69	FHC-105	71,05	13,29	11,94	0,13	0,08	1,60	0,51	1,39	0,00
71	FHC-101	51,81	28,07	16,14	0,19	0,17	1,27	0,72	1,63	0,00
17	HDB-13	21,21	45,65	10,98	0,34	0,10	10,50	1,05	10,17	0,00
32	OZ87-16	76,54	10,62	10,40	0,12	0,15	0,75	0,61	0,80	0,00
33	Darion-22	69,27	14,05	12,55	0,19	0,05	1,75	0,81	1,33	0,00
48	Darion-26	49,50	35,34	12,64	0,69	0,11	0,66	0,63	0,43	0,00
14	Remicourt-112	73,89	13,71	10,71	0,16	0,00	0,55	0,50	0,47	0,00
17	Remicourt-114	68,01	16,60	12,76	0,16	0,19	0,74	0,54	0,99	0,00
21	Remicourt-109	69,72	16,45	11,68	0,00	0,03	0,93	0,00	1,19	0,00
26	Remicourt-110	54,90	14,41	11,58	0,12	0,23	8,96	0,86	8,95	0,00
27	Remicourt-113	72,81	12,70	11,53	0,12	0,26	0,78	0,64	1,16	0,00
50	Remicourt-124	77,62	10,38	9,70	0,19	0,05	0,98	0,34	0,75	0,00
51	Remicourt-119	72,17	11,88	10,90	0,14	0,46	1,11	0,55	2,80	0,00
61	Remicourt-123	62,80	20,58	14,28	0,24	0,12	0,56	1,13	0,28	0,00
62	Remicourt-116	79,18	9,48	8,39	0,13	0,06	1,29	0,32	1,15	0,00
15	Waremme-126	43,34	35,33	19,40	0,55	0,06	0,39	0,42	0,51	0,00
24	Waremme-125	62,40	17,92	13,42	0,00	0,11	1,25	0,00	1,10	3,80
74	WAR-96VIN-127	62,59	20,27	12,10	0,22	0,18	0,73	0,00	0,83	3,07
45	WAR-96VIN-135	61,84	21,19	14,98	0,15	0,10	0,66	0,60	0,47	0,00

XRF-Num	Gisements	%Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%SiO <sub>2</sub>	%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%TiO <sub>2</sub>	%MnO <sub>2</sub>	%CaO	%K <sub>2</sub> O	%P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%MgO
<i>Hesbaye liégeoise (échantillons archéologiques)</i>										
18	WLP-138	71,91	15,61	9,46	0,18	0,03	1,17	0,63	1,01	0,00
23	WLP-136	44,51	32,46	15,87	0,29	0,24	2,03	1,89	2,70	0,00
49	WLP-137	53,03	18,90	14,17	0,17	0,10	7,04	1,01	5,58	0,00
60	WLP-139	66,23	16,26	12,20	0,16	0,17	2,53	0,52	1,93	0,00
64	WLP-140	49,42	36,99	12,49	0,10	0,06	0,19	0,64	0,11	0,00
<i>Belgique (échantillons géologiques)</i>										
47	EG-11	30,54	19,98	9,99	0,15	0,46	36,50	0,61	1,77	0,00
37	EG-16	13,26	6,69	0,00	0,00	0,34	79,34	0,12	0,24	0,00
46	EG-19	37,64	12,64	8,38	0,16	0,43	39,76	0,27	0,71	0,00
35	EG-03	44,29	27,18	14,78	0,36	0,50	11,17	1,56	0,16	0,00
73	EG-02	25,32	18,79	5,73	0,11	1,06	36,63	0,35	0,00	12,01
57	EG-04	60,98	14,49	11,63	0,19	0,48	10,31	0,62	1,29	0,00
59	EG-05	57,62	33,31	1,83	0,11	0,39	5,92	0,18	0,63	0,00
58	EG-08	22,14	16,66	6,51	0,11	1,14	36,33	0,47	0,46	16,18
56	EG-09	37,19	9,35	5,94	0,06	0,56	45,74	0,55	0,60	0,00
54	EG10	40,93	33,56	21,25	0,35	0,18	0,80	2,46	0,46	0,00
53	EG13	20,47	45,77	7,68	0,18	0,19	23,76	0,35	1,61	0,00
40	EG-14	36,56	38,94	17,01	0,39	0,27	4,18	2,32	0,32	0,00
52	EG18	66,84	16,45	9,89	0,30	0,04	3,72	0,71	2,06	0,00
3	EG20	31,20	28,51	20,25	0,26	0,13	17,73	1,91	0,00	0,00
24	EG-21	33,74	37,73	21,98	0,34	0,60	2,61	1,88	1,13	0,00
9	EG-22	41,28	24,48	11,65	0,24	0,28	21,51	0,29	0,27	0,00
70	EG-07	57,16	23,07	12,58	0,26	0,49	4,95	1,49	0,00	0,00
31	<i>Tchéquie-1-ESJ</i>	70,37	7,98	5,09	0,19	0,31	15,89	0,17	0,00	0,00
23	<i>Grand-Duché Luxembourg</i>	60,05	18,64	10,49	0,14	0,45	9,41	0,06	0,76	0,00
<i>Allemagne (échantillons géologiques)</i>										
68	Lissingen (EG-01)	40,21	13,30	8,81	0,13	1,17	35,31	0,92	0,16	0,00
63	HAM-01 (Eifel)	24,24	38,27	1,33	0,10	0,62	34,81	0,19	0,43	0,00
20	HAM-02 (Eifel)	7,81	39,52	0,00	0,07	1,15	50,99	0,13	0,33	0,00
34	HAM-03 (Eifel)	14,02	36,31	0,00	0,05	0,66	48,63	0,08	0,26	0,00
18	OBA-01 (Eifel)	24,66	35,56	1,27	0,09	1,46	36,39	0,28	0,30	0,00
42	OBA-02 (Eifel)	24,74	37,17	0,00	0,06	0,39	36,69	0,28	0,67	0,00
72	OBA-03 (Eifel)	11,70	35,36	1,24	0,05	0,99	50,14	0,22	0,30	0,00
19	OBA-04 (Eifel)	16,56	45,49	0,00	0,03	0,46	36,85	0,08	0,52	0,00
25	OBA-05 (Eifel)	6,79	41,21	0,00	0,03	1,20	50,26	0,19	0,31	0,00
41	OBA-07 (Eifel)	19,17	40,62	0,98	0,06	0,32	38,32	0,13	0,41	0,00
55	OBA-09(Eifel)	9,98	36,60	1,37	0,03	1,13	50,29	0,27	0,33	0,00
13	OBA-6A (Eifel)	11,34	35,74	0,00	0,05	0,45	52,10	0,08	0,25	0,00
10	REE-01 (Eifel)	13,08	37,27	0,00	0,02	0,42	48,90	0,09	0,21	0,00
43	ROH-01 (Eifel)	13,48	39,36	1,04	0,04	0,84	44,65	0,18	0,42	0,00
39	SCH-01 (Eifel)	9,77	42,11	0,00	0,03	0,57	47,03	0,11	0,38	0,00
65	STA-01 (Eifel)	12,95	41,50	0,00	0,11	1,11	43,86	0,18	0,29	0,00

**Tab. 8** – Pourcentage d'oxydes pour les éléments majeurs (XRF portable).

*Tab. 8* – Oxide percentages for the major elements (HH-XRF).

% massique															
N°	Phase	Na <sub>2</sub> O		MgO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		SO <sub>3</sub>		K <sub>2</sub> O	
		Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %	Err %		
Da19-1	Mod II		107,94	0,67	9,02	5,81	2,15	11,79	1,23	0,40	8,27		46,36	0,50	2,68
Da19-2	Mod II	0,27	26,55	0,70	9,2	7,40	2,04	23,38	0,98	0,19	15,74	0,06	31,05	0,68	2,43
Da20*	Mod II	0,28	12,08	0,80	3,52	8,24	0,74	19,42	0,48	22,45	0,44	0,39	5,66	1,55	0,85
Da20*	Mod II	0,27	12,47	0,87	3,24	8,27	0,73	23,82	0,42	19,56	0,47	0,28	7,34	1,25	0,96
Da20*	Mod II	0,22	15,49	0,85	3,42	7,94	0,76	22,19	0,45	19,96	0,47	0,30	6,69	1,16	1,02
Da22-1	Mod II	0,13	37,28	0,63	7,06	7,42	1,47	14,37	0,86	0,40	5,82	0,13	10,7	0,85	1,15
Da22-2	Mod II	0,21	34,27	0,90	7,43	8,35	1,82	18,01	1,03	0,80	5,33	0,13	16,62	0,93	1,93
Da23-1	Mod II	0,39	13,09	0,82	5,83	8,73	1,4	28,14	0,67	0,44	5,53	0,33	5,02	0,94	1,15
Da23-2	Mod II	0,14	37,24	0,79	5,95	7,98	1,45	15,62	0,85	0,46	5,28	0,20	7,68	0,83	1,36
Da24-1	Mod II		44,77	0,81	7,68	11,13	1,51	18,24	0,99	1,33	3,62	0,13	14,69	1,84	1,16
Da24-2	Mod II	0,53	11,02	1,07	5,00	11,38	1,29	48,87	0,57	0,53	5,33	0,32	5,6	1,33	1,05
FHC100-1	pionnière	0,17	28,72	0,98	5,52	9,45	1,5	31,58	0,75	0,51	5,57		40,09	1,02	1,4
FHC100-2	pionnière	0,13	30,52	1,10	4,21	9,02	1,3	32,13	0,65	2,57	1,82	0,06	21,39	1,18	1,22
FHC100-3	pionnière	0,34	20,46	1,44	5,16	13,92	1,37	38,71	0,77	11,78	1,24	0,20	12,9	2,88	1,25
FHC102-1	pionnière	0,19	35,02	1,17	5,83	8,46	1,72	13,71	1,2	5,14	1,74	0,10	19,84	0,70	2,49
FHC102-2	pionnière		42,18	0,97	6,18	6,96	1,85	18,30	1,04	6,31	1,59	0,14	15,38	0,68	2,6
FHC102-3	pionnière		38,83	0,72	9,93	5,87	2,3	10,04	1,57	15,11	1,13	0,25	11,56	0,88	2,69
FHC104-1	Mod II	0,25	25,5	0,64	8,55	7,08	1,84	19,12	0,96	0,39	7,84		34,75	0,57	2,44
FHC104-2	Mod II		622,69	0,47	16,98	5,10	3,07	8,01	2,01	2,74	3,35	0,16	20,81	0,37	5,18
FHC104-2	Mod II	0,28	16,54	0,79	5,41	9,96	1,3	20,96	0,76	0,34	6,18	0,46	3,98	0,72	1,54
FHC104-3	Mod II	0,42	12,08	0,78	5,6	8,38	1,44	31,39	0,68	0,25	8,24	0,38	4,75	0,64	1,83
HDB10-1	Mod II		48,46	0,54	13,06	5,69	2,57	12,64	1,43	0,79	6,61		0,00	0,58	3,12
HDB11-1	Mod II		56,41	1,13	5,47	8,06	1,6	19,81	0,87	1,32	3,18		36,83	0,98	1,54
HDB11-2	Mod II		203,12	1,28	5,15	8,05	1,61	15,04	0,97	0,61	5,19		54,01	1,12	1,35
HDB13-1	Mod II		45,4	0,71	7,03	8,45	1,54	49,01	0,63	4,96	1,79	0,20	9,86	1,05	1,86
HDB13-2	Mod II		38,93	0,95	6,36	7,35	1,78	37,12	0,76	12,04	1,25	0,26	9,74	1,35	1,88
HDB15-1	Mod II		56,73	0,94	6,55	7,10	1,74	12,54	1,09	1,52	3,00	0,06	28,54	0,84	1,81
HDB15-2	Mod II	0,15	34,18	0,62	7,7	5,70	1,77	10,91	1,04	0,33	7,09		82,35	0,51	1,78
HDB6-1	Mod II	0,21	22,97	0,65	6,75	6,64	1,53	18,33	0,77	0,78	3,62		35,52	0,58	1,63
HDB6-2	Mod II	0,18	27,79	0,55	7,45	5,88	1,62	20,30	0,74	0,19	10,17		160,42	0,77	1,39
Huy EG-04	géologique		139,6	4,16	1,94	5,90	1,38	10,33	0,85	0,22	12,84		90,11	0,59	1,87
Huy EG-04	géologique		33,78	2,14	1,94	4,29	1,18	34,48	0,32		0,00	0,47	4,37	0,41	1,92
Huy* EG-04	géologique		47,1	3,52	1,58	5,55	1,07	17,07	0,47	0,14	15,79	0,11	14,11	0,62	1,36
OZ16-1*	Mod II	0,28	16,99	1,58	3,64	19,23	0,97	38,91	0,6	4,56	1,39	0,12	11,57	4,61	0,54
OZ16-2*	Mod II		47,88	1,05	5,69	9,44	1,48	18,86	0,89	1,67	2,78		196,96	1,38	1,27
OZ8-1 oolithe	Mod II	0,33	16,36	1,22	4,54	7,50	1,44	18,69	0,81	5,77	1,25	0,18	8,11	0,75	1,7
OZ8-2 ciment	Mod II		0,00	1,11	4,49	9,17	1,3	21,90	0,69	0,64	3,86		32,00	0,78	1,3
OZ9-1	Mod II	0,19	31,03	0,87	6,52	10,61	1,42	28,65	0,76	3,51	1,93	0,20	8,82	1,74	1,19
OZ9-2	Mod II	0,23	30,97	0,83	7,86	7,66	1,88	16,37	1,07	0,62	6,1		44,27	0,62	2,42
REM109-1	pionnière		84,04	0,91	7,51	7,66	2,05	16,97	1,17	0,31	10,5		35,39	0,75	2,48
REM109-2	pionnière		84,9	0,61	9,58	4,45	2,14	6,70	1,57	3,24	2,07	0,14	13,99	0,48	2,84
REM109-3	pionnière	0,17	32,12	0,81	6,34	7,16	1,71	17,41	0,94	0,67	4,65		35,36	0,62	2,09
REM110-1	Mod II	0,47	11,79	0,87	5,52	9,96	1,39	38,08	0,66	0,50	5,35	0,05	25,96	0,99	1,52
REM110-2	Mod II	0,19	27,38	0,72	6,9	8,09	1,6	21,25	0,86	0,78	4,15		45,15	0,83	1,74
REM110-3	Mod II	0,32	19,87	0,76	7,51	9,56	1,67	27,94	0,88	1,10	4,21	0,07	27,23	1,11	1,84
REM112-1	Mod II		72,16	0,54	11,5	4,89	2,38	11,82	1,3	0,75	5,52		37,12	0,51	2,95
REM112-2	Mod II		99,96	0,47	13,02	4,57	2,49	10,91	1,34	0,14	19,34		34,71	0,45	3,08
REM112-3	Mod II		39,47	0,76	7,77	6,03	2,1	14,33	1,15	0,22	12,78		43,06	0,51	2,84
REM113-1	pionnière		33,37	0,99	7,24	12,51	1,66	27,92	0,97	0,95	5,45		49,47	1,81	1,59
REM113-2	pionnière	0,24	29,42	0,95	7,24	10,35	1,77	16,07	1,2	1,00	4,82		55,72	0,84	2,31
REM113-3	pionnière		44,37	0,81	9,51	7,20	2,14	13,28	1,33	0,42	8,93		58,97	0,77	2,52
REM114-1	pionnière		41,9	0,69	10,9	6,37	2,3	13,68	1,32	0,61	6,8		0,00	0,64	2,8
REM114-2	pionnière		72,39	0,83	9,65	5,73	2,6	9,18	1,64	1,15	4,86		43,86	0,43	3,89
REM114-3	pionnière		0,00	0,55	14,43	5,34	2,6	7,81	1,79	1,02	5,22		0,00	0,50	3,45

% massique															
N°	Phase	Na <sub>2</sub> O		MgO		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		SiO <sub>2</sub>		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		SO <sub>3</sub>		K <sub>2</sub> O	
			Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %
Spy - EG-02	géologique		40,4	0,95	3,96	2,54	1,68	4,51	1,12	3,90	1,15	0,19	8,79		0,00
Spy - EG-02	géologique		54,13	1,46	2,74	1,69	2,2	4,19	1,00	0,61	3,74	0,14	9,87		0,00
VW3-1*	Mod II	0,42	11,96	1,13	4,4	11,33	1,21	39,91	0,59	2,33	1,99	0,06	18,52	1,14	1,21
VW3-2*	Mod II		145,7	0,63	7,69	4,17	2,03	6,18	1,33	0,40	6,12		52,33	0,27	3,04
VW7-1	Mod II		0,00	1,12	5,37	6,15	1,8	10,96	1,08	0,34	7,67	0,09	17,17	0,58	2,01
VW7-2	Mod II	0,19	25,21	1,16	4,62	8,30	1,4	22,92	0,71	0,90	3,33	0,04	26,61	0,87	1,34
WAR125-1	pionnière		84,00	0,61	11,64	5,48	2,44	8,56	1,53	0,40	8,57		0,00	0,65	2,26
WAR125-2	pionnière		45,91	1,10	5,99	8,53	1,81	14,74	1,17	0,92	4,64		30,02	0,59	2,72
WAR125-3	pionnière	0,23	25,06	0,83	6,53	8,06	1,69	24,65	0,85	0,30	9,25	0,07	24,57	0,57	2,44
WAR126-1	pionnière	0,19	30,38	0,00	0,00	14,23	1,47	42,08	0,78	0,45	8,53		40,89	0,62	2,92
WAR126-2	pionnière		45,59	0,26	17,4	12,06	1,53	34,73	0,83	0,51	7,17	0,09	22,25	0,59	2,73
WAR126-3	pionnière		63,49	0,24	15,57	12,65	1,32	38,67	0,69	0,56	5,53	0,07	25,03	0,55	2,38
Waret1 EG-03	géologique	0,23	12,43	6,85	0,78	11,39	0,56	31,31	0,26		0,00	0,06	19,82	2,13	0,48
Waret2 EG-03	géologique	0,62	4,74	3,34	1,09	17,71	0,46	36,36	0,24	0,07	24,98	0,05	22,76	2,87	0,39
Waret3*EG03	géologique	1,03	3,45	4,22	1,00	16,63	0,45	41,17	0,24		0,00	0,12	11,06	3,64	0,37
WLP136-1*	Mod II		33,86	2,06	4,34	14,64	1,49	47,28	0,8	1,63	4,01	0,23	12,47	2,95	1,3
WLP136-2*	Mod II		53,64	1,33	6,00	14,96	1,53	35,89	0,89	2,30	3,33	0,21	13,55	3,53	1,17
WLP136-3	Mod II		126,72	1,09	5,75	10,15	1,59	33,68	0,83	5,40	1,84	0,22	11,26	1,75	1,53
WLP138-1	Mod II	0,34	17,92	0,90	6,36	10,84	1,68	39,37	0,96	0,87	4,66		44,17	1,15	1,84
WLP138-2	Mod II	0,26	20,66	0,90	5,95	9,05	1,57	29,45	0,78	0,58	5,48		32,61	0,88	1,84
WLP138-3	Mod II		32,1	0,78	6,98	7,17	1,78	19,11	0,94	0,78	4,6		56,67	0,63	2,23
WLP2-1	Mod II	0,32	17,56	1,33	4,48	16,90	1,17	44,17	0,67	0,62	5,19	0,13	14,06	3,73	0,75
WLP2-2	Mod II	0,48	13,52	0,78	6,65	8,43	1,63	30,50	0,77	0,34	8,25	0,06	26,59	1,15	1,6
WLP2-3	Mod II		62,26	0,77	7,7	7,23	1,82	12,65	1,16	0,67	5,36		43,13	1,07	1,69

% massique								ppm									
N°	CaO		TiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		total	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MnO		ZnO		Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Err %		Err %		Err %			Err %		Err %		Err %		Err %		Err %
Da19-1	0,39	3,1	0,19	6,47	79,70	0,19	99,4	618	12		38		34	76	30,86		0
Da19-2	0,36	3,74	0,27	5,53	66,33	0,26	99,4	526	15		383		29		51,82	44	39
Da20*	31,86	0,16	0,29	5,59	14,33	0,32	99,3	212	32		46		127	55	14,29	14	35
Da20*	27,30	0,17	0,25	5,78	17,86	0,28	99,5	123	42		32		76	41	14,79		67
Da20*	27,78	0,17	0,26	4,39	19,01	0,27	99,5	53	32		134		68	39	15,48		116
Da22-1	0,74	1,29	0,32	3,07	74,57	0,13	99,4	777	7	211	22		42	73	21,56		668
Da22-2	1,16	1,64	0,31	4,79	68,78	0,21	99,4	510	15	372	20		55	106	21,82		245
Da23-1	0,82	1,27	0,30	3,25	58,79	0,16	99,3	531	10		47	306	23	79	20,66		0
Da23-2	0,79	1,39	0,22	4,13	72,63	0,14	99,5	696	8		39		30	47	31,57		0
Da24-1	0,82	1,97	0,42	3,79	62,73	0,21	97,4	339	21		0	18557	1	92	29,31		70
Da24-2	0,76	1,52	0,34	3,43	33,80	0,24	98,4	200	25		45	8912	2	111	14,88		105
FHC100-1	0,77	1,69	0,25	4,55	54,85	0,25	99,4	423	14		57	429	21	92	36,08		111
FHC100-2	3,43	0,61	0,41	2,71	49,57	0,18	99,5	310	18		49	300	23	48	30,08		0
FHC100-3	17,70	0,41	0,96	3,11	11,56	0,66	99,1	242	29		0		45	65	22,15		63
FHC102-1	7,84	0,54	0,17	8,16	62,09	0,25	99,4	523	14		40		428		41,63		48
FHC102-2	8,29	0,53	0,24	5,94	57,62	0,26	99,5	601	13		53		38	144	60,48	24	0
FHC102-3	22,36	0,37	0,11	16,37	43,71	0,37	99,0	313	30		223		47	84	23,85		151
FHC104-1	0,58	2,25	0,24	5,08	70,49	0,2	99,1	471	14	226	25		30	47	31,26		85
FHC104-2	3,63	1,13	0,17	11,18	78,86	0,3	99,5	463	21		130		51	91	213,8		0
FHC104-2	0,74	1,43	0,21	4,13	65,19	0,16	99,4	542	9		58		33	59	21,28		0
FHC104-3	0,70	1,66	0,21	4,51	56,67	0,2	99,3	377	14		39		37	56	27,87		0
HDB10-1	0,79	2,49	0,20	7,93	78,10	0,24	99,3	555	15		0	1118	14		302,34		0
HDB11-1	1,60	1,09	0,22	4,98	66,21	0,17	99,3	561	11	229	24	1303	8	123	19,44		72
HDB11-2	0,59	2,04	0,20	4,99	72,51	0,16	99,4	630	10		55	695	13	92	22,53		98
HDB13-1	8,51	0,45	0,35	4,24	26,20	0,33	99,4	85	34	197	29	1980	5	121	15,26		76

N°	% massique							ppm									
	CaO		TiO <sub>2</sub>		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		total	V <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		MnO		ZnO		Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Err %		Err %		Err %			Err %		Err %		Err %		Err %		Err %
HDB13-2	15,95	0,41	0,49	4,17	23,89	0,41	99,4	120	36		83	1061	10	124	13,46		0
HDB15-1	1,82	1,05	0,15	7,04	74,43	0,17	99,4	642	10		37	543	18	165	14,94		98
HDB15-2	0,48	1,99	0,20	4,65	80,73	0,14	99,5	636	8		44	691	13	76	20,11		63
HDB6-1	0,65	1,48	0,27	3,27	71,23	0,13	99,1	487	10		32	1929	5	85	18,9		450
HDB6-2	0,24	3,09	0,41	2,56	71,07	0,14	99,4	524	10		34	350	20	37	35,29		414
Huy EG-04	7,72	0,41	0,29	4,56	69,70	0,18	98,9	1090	7		28	3895	3	62	12,43		0
Huy EG-04	4,76	0,4	0,23	4,79	51,69	0,14	98,5	748	9		26	1845	4	60	9,62		49
Huy* EG-04	9,63	0,26	0,29	3,7	61,70	0,12	98,6	849	7	193	21	4285	2	56	9,87		71
OZ16-1*	6,88	0,42	1,03	1,55	22,39	0,25	99,3	249	26	225	20	875	7	117	16,99	22	55
OZ16-2*	1,90	1,02	0,25	4,49	64,87	0,18	99,4	583	10		55	881	11	94	22,39		84
OZ8-1 oolithe	10,87	0,3	0,22	4,64	53,33	0,17	98,7	375	15		37	4839	2	76	23,01		55
OZ8-2 ciment	0,80	1,23	0,19	4,17	63,89	0,13	98,5	562	8		31	10275	1	88	16,82		151
OZ9-1	5,25	0,54	0,26	4,64	47,89	0,22	99,0	431	16		146	4152	3	148	17,94		116
OZ9-2	0,65	2,26	0,24	4,72	72,10	0,2	99,1	673	11		36	2474	6	87	29,17		107
REM109-1	0,43	3,48	0,19	7,57	72,23	0,26	99,5	473	16		39		33	51	34,08		0
REM109-2	3,76	0,73	0,18	6,56	79,79	0,2	99,4	555	13		31	664	17		26,98		0
REM109-3	0,83	1,65	0,20	5,29	71,61	0,21	99,3	538	11		77	359	26		32,37		79
REM110-1	0,80	1,66	0,35	3,44	47,67	0,23	99,3	460	14		73	318	25		27,74		83
REM110-2	0,91	1,56	0,24	4,71	66,62	0,2	99,4	683	9		45	414	22	76	36,84		0
REM110-3	1,36	1,56	0,26	5,55	57,05	0,26	99,2	541	14		46	661	17	237	64,49		0
REM112-1	0,97	1,84	0,19	7,32	79,75	0,23	99,4	515	15		40		37	131	139,43		0
REM112-2	0,17	5,84	0,20	5,98	82,49	0,23	99,4	641	12		55		52	141	69,13		200
REM112-3	0,28	4,04	0,20	6,76	76,98	0,2	99,3	584	13		32		69		38,52		0
REM113-1	1,03	2,23	0,28	6,08	53,66	0,32	99,1	493	18		52	2092	8	74	15,66		57
REM113-2	0,47	3,26	0,16	8,53	69,17	0,26	99,0	926	10		61	1719	9		26,86		0
REM113-3	0,44	3,5	0,19	8,21	76,18	0,25	99,3	534	15		114	524	27		28,62		0
REM114-1	0,38	3,81	0,17	8,74	76,76	0,26	99,3	519	16		44	558	25		70,54		78
REM114-2	1,37	1,7	0,18	8,71	80,33	0,26	99,2	463	18		34	963	16	149	50,41		317
REM114-3	0,82	2,39	0,17	9,15	83,08	0,24	99,3	624	14		110	1731	10		181,05		0
Spy - EG-02	5,99	0,34	0,19	4,43	81,04	0,12	99,3	726	7		35	739	8	24	26,93		189
Spy - EG-02	21,29	0,17	0,21	4,9	69,51	0,13	99,1	820	7	185	22	747	8	14	36,33		89
VW3-1*	3,71	0,57	0,32	3,12	39,19	0,19	99,1	301	17		41	1947	4	104	14		148
VW3-2*	0,35	2,49	0,14	6,00	87,13	0,14	99,3	676	8		53	1890	5	103	18,29		60
VW7-1	0,41	2,51	0,20	4,38	79,74	0,15	99,6	666	9		49	1274	8	166	13,29		125
VW7-2	0,81	1,38	0,26	3,45	63,91	0,15	99,2	547	9		61	1947	4	90	16,6		53
WAR125-1	0,56	2,52	0,18	7,73	83,01	0,21	99,4	676	12		0		47	29	93,78		206
WAR125-2	1,29	1,53	0,16	7,63	71,97	0,24	99,3	660	11		191	712	17	61	46,63		0
WAR125-3	0,58	2,31	0,29	4,47	64,07	0,22	99,4	405	16	201	27		27	235	25,13		130
WAR126-1	0,38	3,82	0,94	2,67	40,55	0,32	99,2	453	23	321	22	816	15	193	51,33	48	53
WAR126-2	0,39	3,51	0,81	2,48	50,08	0,3	99,5	562	16	447	16		105	109	63,9		81
WAR126-3	0,42	2,73	0,75	2,36	45,72	0,25	99,6	341	22	22	24		743	116	26,82		56
Waret1 EG-03	16,61	0,15	0,26	3,55	29,92	0,14	98,5	335	18	349	14	6263	1	41	15,32		102
Waret2 EG-03	6,71	0,24	0,93	0,93	33,52	0,12	98,6	272	18	234	15	2713	2	64	9,31	14	27
Waret3*EG03	11,88	0,2	0,77	1,26	19,50	0,18	97,9	65	37	287	16	5228	1	59	10,46	18	22
WLP136-1*	1,54	1,9	0,58	3,67	28,55	0,48	99,4	0	0	242	33	925	14	112	19,59		69
WLP136-2*	0,83	2,98	0,42	5,16	39,61	0,36	99,1	413	24		49	3680	5	58	23,59	29	48
WLP136-3	4,58	0,81	0,44	4,2	42,19	0,32	99,5	466	18		83	784	15	74	34,26		0
WLP138-1	0,78	2,27	0,29	5,26	44,36	0,5	98,6	237	29		36	7628	3	58	29,19		48
WLP138-2	0,72	1,98	0,24	5,03	57,51	0,23	99,3	418	15		41	523	19	65	30,66		229
WLP138-3	0,99	1,59	0,20	5,67	69,67	0,21	99,3	537	13		38	786	14		52,94		279
WLP2-1	0,92	1,88	0,57	2,8	30,73	0,33	99,1	424	17		35	1876	5		21,24	152	321
WLP2-2	1,39	1,35	0,31	4,32	56,09	0,23	99,1	481	14		35	764	14		32,79	58	178
WLP2-3	0,64	2,29	0,18	6,63	76,20	0,2	99,4	570	12		37	964	12		36,63	65	93

N°	ppm															
	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Rb <sub>2</sub> O		SrO		Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		ZrO <sub>2</sub>		BaO		La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %
Da19-1	106	22		79		0		0	71	43		77		146		0
Da19-2		93		114	61	35		49	55		66	545	90			413
Da20*	27	14	87	4	552	1	919	1	82	7	754	35	2157	23	2151	16
Da20*	23	13	60	4	407	1	529	1	59	7	271	37	1899	24	1708	20
Da20*	23	14	63	4	414	2	535	2	50	8		40	1688	28	1673	21
Da22-1	56	24		33		42	29	51	147	16	621	62		119		243
Da22-2	77	26		0		43	76	31	130	26		120	505	102		108
Da23-1	71	21		42	25	49		42	89	24		113		252		0
Da23-2		52	49	31	50	27		86	53	34		279		367		0
Da24-1	93	26	99	23	101	25	116	26		41	1727	41		0	696	71
Da24-2	66	25	60	25	80	20		52		40	537	79		198	385	72
FHC100-1	86	30		0		59	86	45	340	19		124		109		246
FHC100-2		44		30	203	25	231	27		18	1173	104	824	72		848
FHC100-3		0	70	33	84	17	111	15	207	40		139		172		48
FHC102-1	110	41		54		18		23		97		125		145		1501
FHC102-2		102	59	31	388	22		20	125	98	912	56		79		112
FHC102-3	61	38		66	46	13		13	99	73		197	674	95		62
FHC104-1	55	222		0	33	104		0	67	65		205		84		114
FHC104-2	78	36		96	62	63		44		86	777	50		245		0
FHC104-2	108	26		46		31		53	124	24		124		137		0
FHC104-3	69	23	53	33	50	39		61	115	31	813	99	1019	69		0
HDB10-1		38		43		90		110		44		207		260		0
HDB11-1		58		100	96	23	76	28	106	27		69		113		308
HDB11-2	90	21		40	97	24		102	73	42		116		215		0
HDB13-1	83	21	57	27	212	14	271	13		28		126		0		185
HDB13-2		58	56	25	218	11	234	12	256	13		92		0		110
HDB15-1	130	15	66	28	63	28		46		43		216		0		0
HDB15-2	74	21		63		117		54	116	17		166		435		0
HDB6-1	99	17		94	39	31		39	108	19		51		0		266
HDB6-2	59	27		144		73		61	67	27		93		186		0
Huy EG-04	55	9	20	12	71	5	45	7	146	4	96	37		0		251
Huy EG-04	42	8	12	14	2113	1	39	6	89	6	8181	2	3200	22	3114	18
Huy* EG-04	37	9	20	9	562	1	40	5	94	4	1778	4		260		54
OZ16-1*	47	32	186	15	204	14	306	14	175	22		98		99		77
OZ16-2*	61	31	55	34	49	31		54	261	16		78		0		415
OZ8-1 oolithe	97	16	55	29	239	10	274	11		59	538	95		0		172
OZ8-2 ciment	94	18	71	19		73		36	102	16	875	50		131		97
OZ9-1	123	20	91	25	114	22	242	17	256	18		167		205	575	71
OZ9-2	123	22		50		131		43	334	17		0		250		124
REM109-1		33		102		37		201	157	0		173	570	80		629
REM109-2	108	34		68		20	68	19	179	46		108		146		123
REM109-3	110	21		40	65	69		114		23	905	72	1135	54		0
REM110-1	149	24		33		34	81	135		27	719	55		129		109
REM110-2		47		0		39		42	124	20		134		91		135
REM110-3	120	25		133		60		47	143	26		196		138		372
REM112-1	245	29		0		38		42	354	45		137		190		169
REM112-2	58	24		0		61		39	116	124		110		112		0
REM112-3	168	48		232	64	178		0		33	922	60	684	78		505
REM113-1		26		50		61		57		32	897	78	942	57		535
REM113-2		17		60		39		36		18		146		161		0
REM113-3	122	50		0		0		78		43		159	929	50	675	96
REM114-1		23		80	92	43	99	0		67		60		168		176
REM114-2		133		192		63		103	218	44		65		127		121
REM114-3		71		0		92		44	166	57		115	1231	49		0
Spy - EG-02	51	9		1022	152	2	104	3	105	4		65		0		0
Spy - EG-02	42	9		0	147	3	39	5	98	4		53		3926		0

N°	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		Rb <sub>2</sub> O		SrO		Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		ZrO <sub>2</sub>		BaO		La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %		Err %
VW3-1*	68	16	45	26	108	14	136	14	168	15		123		227		118
VW3-2*	127	15		59		0		170	83	23		99		2410		209
VW7-1	101	17		36		69		190	68	25		121		0		0
VW7-2	90	15	44	31		40		45		35		108		0		0
WAR125-1		29		0		60		53	193	45	1644	48	1698	57		70
WAR125-2	60	51		0	64	30		35	336	78		89		426		478
WAR125-3		79	149	0	175	39		63	430	26		263		116		362
WAR126-1		42	244	32	91	46		0		30		61		69		157
WAR126-2		36		49	153	58	132	139		23		131		52		122
WAR126-3		34	100	29	391	29		0		14		109		131		301
Waret1 EG-03	65	8	90	4	66	6	43	9	141	4	242	29		0		112
Waret2 EG-03	59	7	94	4	55	5	59	6	131	3	217	22		0		221
Waret3*EG03	26	13	130	3	99	4	69	6	135	4	346	20		0		95
WLP136-1*		84		33	481	28		75		24		119		714		451
WLP136-2*	65	98		20		50	60	0	363	54		97		887		0
WLP136-3	111	75		64		34		51	236	53		111		313		719
WLP138-1	62	31		60	64	39		40	115	16		211		0		0
WLP138-2	149	23		116		180		0	127	20		251		249		283
WLP138-3		39		74		39		45		52		286		258		0
WLP2-1		0		28		34	105	31	164	30		96		122		174
WLP2-2		34		144		30	64	46		31		122		118		99
WLP2-3		19		94		54		65		29		548		148		129

EG-02 : Suarlée ; Les Isnes - Famennien inférieur (Fa2sup.). Bord nord du S. Namur - référence SGB :143E314 (NB «S.» = Synclinorium de)  
EG-03 : Ville-en-Waret (Andenne) – ancienne mine/chapelle Ste Barbe, Famennien inf., Bord sud du S. Namur  
EG-04 : Gare de Huy Nord – Fa inf. – Bord sud du S. Namur- référence SGB 146W11-12

**Tab. 9** – Résultats PIXE avec l'incertitude exprimée en % de la teneur. Les échantillons analysés à AGLAE sont accompagnés d'une étoile (\*). MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO et Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sont exprimés en % massique. Les autres éléments sont exprimés en ppm.

**Tab. 9** – PIXE results with the uncertainty expressed in % of the content. Samples analyzed at AGLAE are identified by an asterisk (\*). MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO, TiO<sub>2</sub>, MnO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> are expressed in % weight. Other elements are in ppm.

