

La nouvelle séquence stratigraphique de la grotte Walou (Belgique)

Stéphane PIRSON, Christelle DRAILY, Mona COURT-PICON, Freddy DAMBLON & Paul HAESAERTS

Résumé

La nouvelle stratigraphie de la grotte *Walou* (Trooz, Belgique), élaborée dans le cadre des fouilles de 1996 à 2004, est présentée. Cette séquence exceptionnelle, épaisse d'une dizaine de mètres, couvre une grande partie du Pléistocène supérieur; son positionnement chronostratigraphique, assuré par une bonne corrélation avec la séquence pédostratigraphique de référence des loëss de Moyenne Belgique, est confirmé par la téphrostratigraphie (téphas de Rocourt et du *Laacher See*), les occupations archéologiques et plusieurs datations. Une interprétation paléoenvironnementale est proposée; elle se base sur les phénomènes pédologiques ainsi que sédimentaires et est renforcée par les résultats particulièrement cohérents de la palynologie. Ces informations ouvrent des perspectives intéressantes pour l'étude des gisements préhistoriques en contexte karstique de Belgique.

Mots-clés : grotte *Walou*, lithostratigraphie, Pléistocène supérieur, téphrostratigraphie, pédologie, palynologie, paléoenvironnement, loëss.

1. Introduction

La grotte *Walou* (Trooz, province de Liège, Belgique; fig. 1) s'ouvre dans des calcaires viséens (Laloux *et al.*, 1996) sur le versant gauche de la Magne, petit affluent de la Vesdre. Une première campagne de fouilles y a été entreprise entre 1985 et 1990 par la Société wallonne de Paléontologie (SoWaP) sous la direction de M. Dewez (Dewez *et al.*, 1993). Une seconde campagne a débuté en 1996 sous la direction de C. Draily *et al.*, grâce à différentes subventions du Ministère de la Région wallonne, s'est poursuivie jusqu'en 2004 (Draily, 2004).

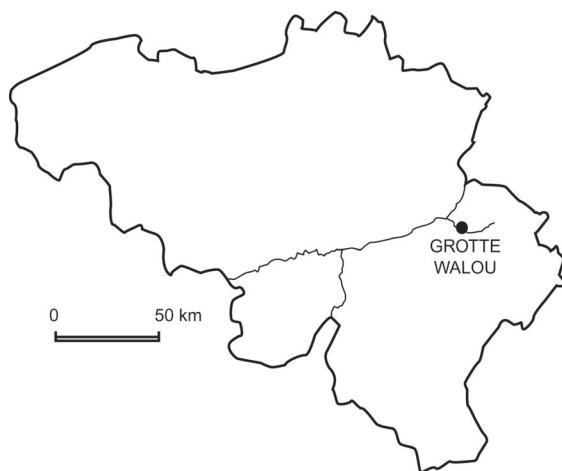
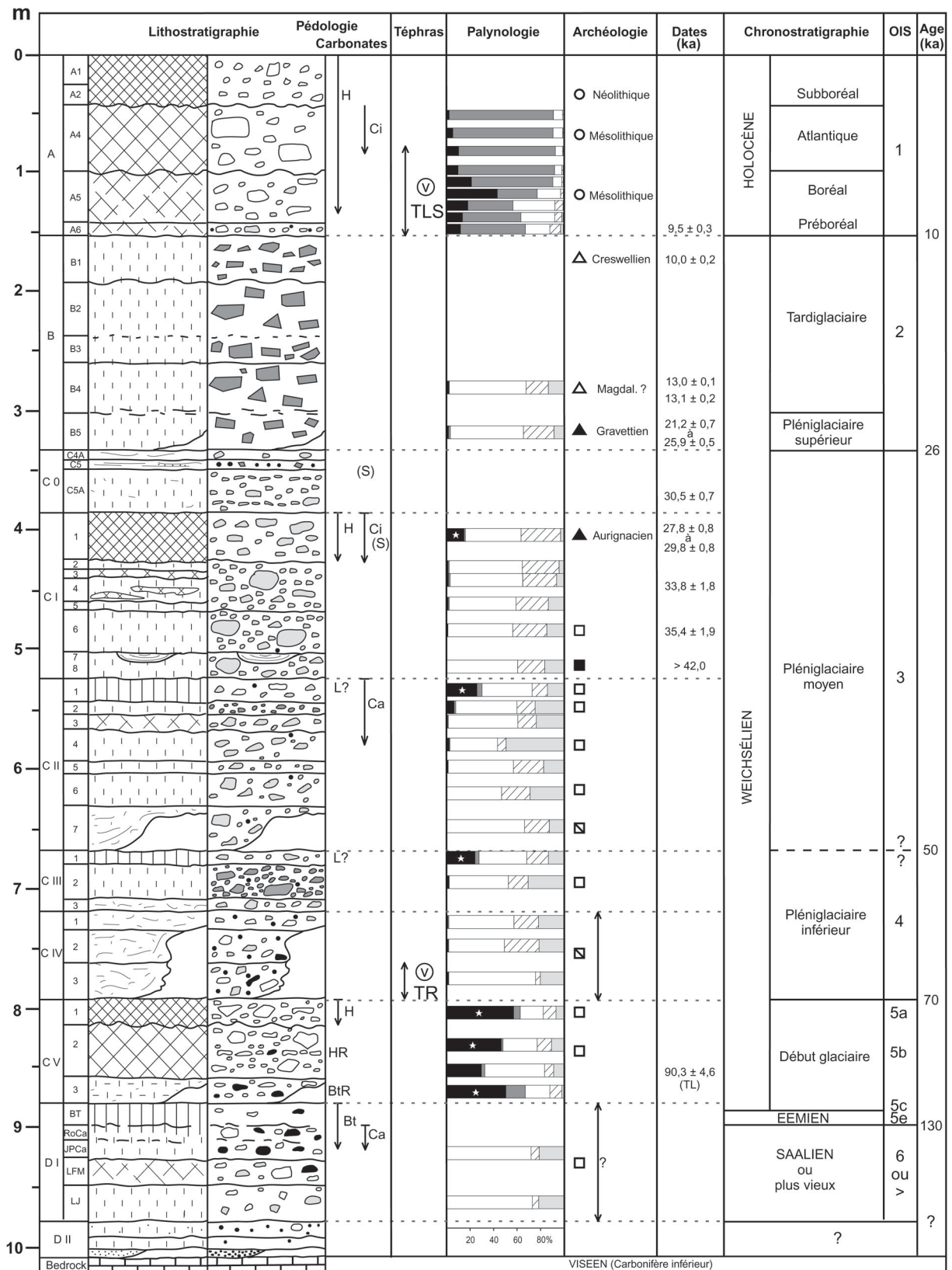


Fig. 1 — Localisation de la grotte *Walou*.

Site de première importance pour le Paléolithique belge, la petite cavité a livré plusieurs occupations archéologiques ainsi qu'une dent humaine (Draily, 2004). En dehors de l'archéologie et de l'anthropologie, le site a été étudié sous divers aspects liés au paléoenvironnement et à la chronologie. Lors des fouilles de la SoWaP, des analyses fauniques, palynologiques et sédimentologiques ont été réalisées et plusieurs dates radiocarbone ont été obtenues (Dewez *et al.*, 1993; Chen *et al.*, 1988). Une synthèse des informations paléoenvironnementales et une interprétation chronostratigraphique des données des fouilles de la SoWaP a été proposée récemment (Pirson & Toussaint, 2002 : 94); les informations relatives aux recherches entreprises entre 1996 et 2004 (faune, palynologie, sédimentologie, téphrostratigraphie, datations, etc.) seront quant à elles rassemblées dans une monographie en préparation.

Malgré son importance, la stratigraphie complexe de ce site n'a fait l'objet que d'une étude courte, mais très détaillée, par S. Collcutt (1993); la coupe présentée à cette occasion reste encore aujourd'hui la seule publiée pour le site. Les travaux archéologiques depuis cette époque ont pourtant beaucoup progressé. Ainsi, l'extension des fouilles archéologiques depuis 1996 a surtout concerné la partie inférieure de la séquence, soit les ensembles C et D définis par Collcutt. Les problèmes de corrélations entre les différents secteurs du chantier, liés à une géométrie très complexe des dépôts, sont amplifiés par l'absence de relevés stratigraphiques publiés pour les sondages effectués par la SoWaP en dehors de la grande coupe



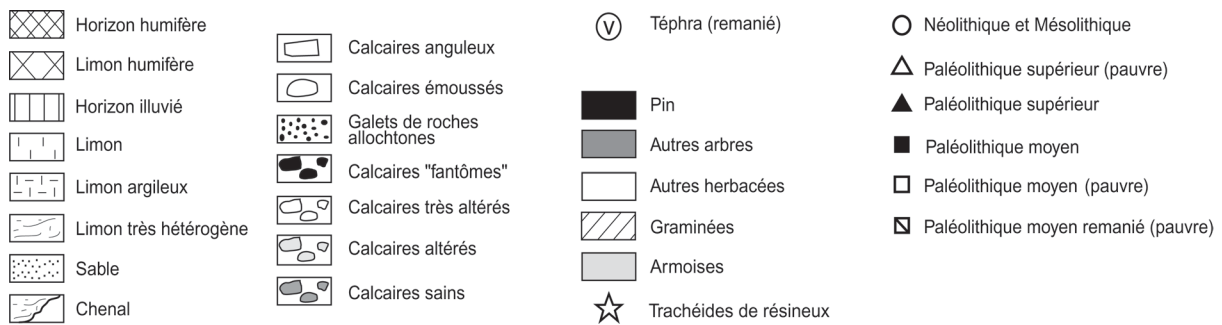


Fig. 2 — (ci-contre et ci-dessus) *Grotte Walou* : lithostratigraphie (ensembles, couches, matrice, éléments grossiers), pédologie et carbonates secondaires, téphras, palynologie (nos résultats, sauf ensemble A : Heim, 1993), archéologie, dates (^{14}C , sauf une date TL sur calcaires brûlés), interprétation chronostratigraphique. Les données des ensembles A et B sont reprises de Dewez et al. (1993). Pour la palynologie, les pourcentages de chaque taxon sont calculés par rapport au nombre total de grains de pollen de plantes terrestres; certains taxons (hydrophiles, hygrophiles et aquatiques, spores de Ptéridophytes, etc) ont été exclus de la somme pollinique totale (Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Pour B5 et CI-1, 8 dates radiocarbone sont disponibles mais seuls les extrêmes sont fournis pour chaque couche (pour les références complètes des dates radiocarbone, voir Draily, 1998 : 27). Abréviations : H = sol humifère; HR = sol humifère remanié; L = petit sol lessivé; Bt = horizon illuvié; BtR = horizon illuvié remanié; Ci = carbonates cimentant la matrice; Ca = concrétions carbonatées; S = petit spéléothème; TLS = téphra du Laacher See; TR = téphra de Rocourt; OIS = stades isotopiques de l'oxygène.

de Collcutt. Cette situation a conduit l'archéologue responsable du site (C. Draily) à associer un géologue (S. Pirson) à l'équipe pluridisciplinaire déjà en place. Des contrôles stratigraphiques et des relevés plus détaillés ont été réalisés entre janvier et juillet 2003 ainsi qu'entre mars et mai 2004.

Cet article a pour but la présentation d'une première synthèse de la stratigraphie de ce site majeur (§2). De nouveaux résultats concernant la téphrostratigraphie (§3) et la palynologie (§4) sont également inclus. Une interprétation préliminaire du paléoenvironnement et de la chronostratigraphie est ensuite proposée (§5); cette interprétation est confrontée aux résultats publiés des différentes autres disciplines impliquées dans l'étude du site.

2. Description lithostratigraphique

La stratigraphie des fouilles de la SoWaP établie par S. Collcutt (1993) comprend quatre "membres", soit de haut en bas : A, B, C et D. L'accès à de nouveaux secteurs grâce aux fouilles de 1996-2004 ainsi que la réinterprétation de la grande coupe témoin analysée par Collcutt ont permis la subdivision des membres C et D en 8 ensembles sédimentaires distincts, définis comme autant de cycles "érosion, dépôt, stabilisation". Les membres A et B ayant été presque complètement fouillés lors des travaux de la SoWaP, peu de nouvelles observations ont pu être réalisées pour cet intervalle stratigraphique; ces deux membres sont conservés tels quels. La séquence de *Walou* est dès lors subdivisée en 10 ensembles.

La nouvelle subdivision lithostratigraphique observée à la grotte *Walou* (fig. 2) est résumée ci-dessous, de bas en haut. Bien que les équivalences furent parfois difficiles à établir, la nomenclature des couches présentée ici fait autant que possible référence aux travaux de Collcutt (1993). La comparaison entre les deux stratigraphies (fig. 3) sera discutée dans la monographie en préparation. Une description plus détaillée, accompagnée de nombreuses coupes illustrant la géométrie complexe de ce site, y sera également présentée.

Dans la description qui suit, un sédiment est dit très hétérogène lorsque la matrice est composée de nombreux éléments sub-arrondis remaniés de dépôts antérieurs et visibles macroscopiquement; un sédiment homogène en est dépourvu. En outre, quatre états d'altération des calcaires sont distingués : calcaires sains (non ou très peu altérés), calcaires altérés, calcaires très altérés (présentant une surface pulvérulente blanchâtre) et calcaires "en fantômes" (cailloux creux avec cortex non carbonaté brun foncé à noir).

2.1. Ensemble D II

Il s'agit d'un ensemble de couches résiduelles, fortement tronquées par les ensembles postérieurs. Les sédiments comblent le plus souvent une dépression en forme de chenal affectant le bedrock. Différentes lithologies alternent sur les coupes étudiées : cailloutis, limon plus ou moins riche en éléments grossiers et limon ou limon sableux. La caractéristique principale de ces dépôts est la rareté des éléments calcaires. Les éléments grossiers sont essentiellement représentés par des galets de roches allochtones (quartz, quartzites

<i>Ce travail</i>	<i>Collcutt (1993)</i>
A	A
B	B
C0-C4A	C4A
C0-C5	C5
C0-C5A	C5A
-	C6A
-	C6B
-	C6C
CI-1	C6D et E
CI-2 à CI-5	C7A
CI-6	C7B
CI-7	-
CI-8	C8
CII-1 à CII-7	C9 + C10A
CIII-1	C10B
CIII-2	C10C
CIII-3	-
CIV-1 à 3	-
CV-1 et CV-2	C10D
-	D1
CV-3	-
DI-BT	-
DI-RoCa	-
DI-JPCa	-
DI-LFM	D2
DI-LJ	-
DII	-

Fig. 3 — Equivalences probables entre la stratigraphie de Collcutt (1993) et celle présentée dans ce travail.

et différents grès); leur taille est le plus souvent millimétrique à plurimillimétrique. Toute corrélation entre les secteurs où ces dépôts furent observés est délicate.

2.2. Ensemble DI

Cet ensemble est souvent tronqué par les dépôts plus récents, ce qui limite les corrélations entre secteurs du site. Les éléments grossiers sont majoritairement des calcaires, centimétriques à décimétriques, parfois pluridécimétriques; les allochtones (galets de quartz, quartzite, grès, etc.), millimétriques à centimétriques, sont rares. Dans les secteurs les mieux documentés, la succession suivante a été observée.

Couche DI-LJ

Limon relativement homogène, jaune pâle à beige, avec quelques éléments grossiers. Les calcaires, dispersés, sont émoussés, altérés à très altérés (rares “ fantômes ”).

Couche DI-LFM

Limon gris brun à brun clair, hétérogène, avec éléments grossiers. Les calcaires sont émoussés, altérés à très altérés (quelques “ fantômes ”).

Horizon JPCa

Limon gris jaune pâle à jaune orangé, avec calcaires localement assez nombreux. Ces calcaires sont émoussés et souvent très altérés ou en “ fantômes ”. Le sommet de l’unité montre des taches et des bandes brun rougeâtre. Des concrétions carbonatées pluricentimétriques ont été observées.

Horizon DI-RoCa

Limon argileux brun rougeâtre, plus ou moins compact, avec taches et lentilles de carbonates secondaires. Le sédiment présente une structure polyédrique sub-angulaire. Calcaires assez nombreux, émoussés, souvent très altérés ou en “ fantômes ”; ces calcaires sont souvent entourés d’un cortex de carbonates secondaires.

Horizon DI-BT

Limon argileux homogène, brun rougeâtre, très compact, présentant une structure polyédrique sub-angulaire bien développée. Revêtements argileux ocres bien marqués sur les surfaces des unités structurales. Quelques calcaires très altérés.

2.3. Ensemble CV

D’un point de vue lithologique, avec ses limons riches à très riches en cailloux (localement véritable cailloutis), l’ensemble CV se distingue assez nettement des ensembles DI et DII. Les éléments grossiers sont principalement des calcaires, centimétriques à décimétriques; les allochtones, de même nature que pour les couches sous-jacentes, sont rares.

Couche CV-3

Limon argileux brun rougeâtre hétérogène, plus ou moins compact. Calcaires assez fréquents, émoussés, altérés, très altérés ou en “ fantômes ”. Concrétions de carbonates secondaires remaniées.

Couche CV-2

Limon argileux brun foncé légèrement verdâtre, hétérogène, plus ou moins compact, riche en éléments grossiers et grossièrement lité. Les calcaires sont le plus souvent très altérés (parfois en “ fantômes ”). A la base de l’unité, des lentilles d’épaisseur variable et de couleur rougeâtre avec nombreux charbons de bois ont été observées.

Horizon CV-1

Limon argileux riche en éléments grossiers. La matrice, de couleur brun très foncé à noir, est compacte et présente une structure granulaire bien développée sur laquelle des revêtements argilo-humiques brun foncé sont bien visibles. Les calcaires sont émoussés et très altérés.

2.4. Ensemble CIV

Les différentes couches constituant cet ensemble remplissent une importante structure en chenal de plus de 50 cm de profondeur (localement 1 m), érodant l'ensemble CV et, parfois, les ensembles DI et DII. Plusieurs phases d'érosion sont enregistrées au sein de ces dépôts. Les caractéristiques de cet ensemble sont, outre sa géométrie, la grande hétérogénéité de la matrice et le nombre plus important d'éléments grossiers allochtones.

Couche CIV-3

Cette couche englobe plusieurs unités s'emboîtant les unes dans les autres et érodant fréquemment les précédentes. Le plus souvent, il s'agit d'un limon brun moyen à foncé avec nuances orangées, avec éléments grossiers assez nombreux. Ces derniers sont principalement des calcaires, émoussés et altérés (localement très altérés; rares "fantômes"); les allochtones sont parfois assez fréquents. La matrice est systématiquement hétérogène à très hétérogène.

Couche CIV-2

Limon brun orangé, très compact et très hétérogène, riche en éléments grossiers. Ces derniers sont principalement des calcaires, émoussés et altérés (localement très altérés; rares "fantômes"). Les allochtones sont assez fréquents.

Couche CIV-1

Limon brun rougeâtre, très compact et très hétérogène, riche en éléments grossiers. Ceux-ci comprennent surtout des calcaires, émoussés et altérés à très altérés, mais aussi des allochtones.

2.5. Ensemble CIII

Cet ensemble est le premier largement représenté à travers le site. Les éléments grossiers sont principalement des calcaires, centimétriques à décimétriques; les allochtones sont rares.

Couche CIII-3

Limons gris beige à brun moyen, localement très hétérogène, riche à très riche en cailloux. Certains secteurs montrent une composante humifère en

position secondaire parfois abondante. Les calcaires sont un peu émoussés et plus ou moins altérés (parfois très altérés), mais il existe des calcaires assez sains et émoussés. La limite inférieure de la couche est clairement érosive, développant localement une petite structure en chenal (env. 30 cm de profondeur).

Couche CIII-2

Cailloutis à matrice limoneuse gris beige clair homogène, très meuble, à porosité très marquée. Les calcaires (surtout 5 à 10 cm) sont sains et présentent un émoussé marqué.

Couche CIII-1

Limon argileux compact brun rougeâtre homogène, avec quelques éléments grossiers. Les calcaires sont altérés et émoussés. Une fine couche de limon gris très clair divise la couche en deux.

2.6. Ensemble CII

L'ensemble CII s'inscrit dans la même géométrie que celle de l'ensemble CIII. L'épaisseur des sédiments diminue de la grotte vers la terrasse. Sauf mention contraire, les éléments grossiers sont surtout des calcaires centimétriques à pluridécimétriques un peu émoussés et un peu altérés et les allochtones sont rares, infra-centimétriques et de même nature que pour les couches sous-jacentes.

Couche CII-7

Limon gris brun à brun clair, légèrement verdâtre, hétérogène à très hétérogène, riche en éléments grossiers. Les calcaires montrent un émoussé et un état d'altération variable. Les allochtones sont plus nombreux que dans les autres couches de CII. Cette unité est nettement érosive sur les couches sous-jacentes, développant localement un chenal d'environ un demi-mètre de profondeur. Dans cette structure, différentes sous-couches sont visibles.

Couche CII-6

Limon beige grisâtre homogène, plus ou moins meuble, assez riche en calcaires.

Couche CII-5

Observée dans un seul secteur restreint du site, cette couche est composée de limon beige gris jaunâtre, à calcaires assez abondants. La couche incise CII-6 en formant un petit chenal en dehors duquel elle n'existe plus.

Couche CII-4

Limon beige jaunâtre assez homogène, plus ou moins meuble, souvent riche en calcaires. De petites

concrétions carbonatées millimétriques y sont très abondantes.

Couche CII-3

Limon brun gris moyen (plus foncé que CII-6), hétérogène, riche en calcaires. Des concrétions carbonatées millimétriques y sont fréquentes.

Couche CII-2

Caillouti à matrice limoneuse gris jaune clair, homogène, meuble et très poreuse. Les calcaires sont assez sains et émoussés (proches de ceux de CIII-2). Des concrétions carbonatées millimétriques à décimétriques sont très abondantes.

Couche CII-1

Limon argileux compact, à cailloux assez nombreux. La couleur dominante de la matrice est beige orangé, mais la présence d'éléments sub-arrondis et de lentilles brun rougeâtre foncé ou gris jaune confère à la couche un aspect macrosopique hétérogène. Les calcaires sont altérés à très altérés (nettement plus que dans les autres couches de l'ensemble CII) et un peu émoussés. De nombreuses concrétions carbonatées millimétriques sont présentes.

2.7. Ensemble CI

Lors de la révision de la stratigraphie de *Walou*, les couches de cet ensemble n'ont pu être bien observées que sur une seule coupe, celle que Collcutt (1993) avait étudiée. Une des caractéristiques de cet ensemble est sa richesse en éléments grossiers. Les calcaires, un peu émoussés et un peu altérés, sont surtout centimétriques à décimétriques. Pas d'allochtone observé.

Couche CI-8

Limon assez hétérogène, brun grisâtre clair à brun moyen (devenant plus clair vers le haut), à nombreux éléments grossiers. Quelques fragments millimétriques rouge orange de microfaune et d'os altérés. La limite inférieure est érosive. Cette couche a livré une importante occupation du Paléolithique moyen ainsi qu'une dent humaine.

Couche CI-7

Limon finement lité, avec rares calcaires, remplissant une petite structure en chenal qui affecte localement le sommet de la couche CI-8.

Couche CI-6

Limon hétérogène, brun rougeâtre, très riche en fragments millimétriques rouge-orange de microfaune et d'os altérés. Éléments grossiers assez nom-

breux. Le sommet présente des taches brun foncé et rougeâtres; la mauvaise qualité des conditions d'observation (petite surface sur une coupe en partie étançonnée) n'a pas permis de déterminer s'il s'agissait là d'un petit paléosol.

Couche CI-5 à 2

Ces quatre unités se différencient de CI-6 par la plus faible quantité de fragments millimétriques rouge-orange de microfaune et d'os altérés, la grande abondance de calcaires, particulièrement de l'ordre du centimètre, ainsi que la faible compaction. CI-5 (± 5 cm) est plus claire, brun grisâtre, plus homogène et plus pauvre en cailloux. CI-4 (± 2.5 cm) est un limon très riche en éléments grossiers et très hétérogène; les teintes varient du gris beige clair au brun foncé (lentilles plus humifères) en passant par le brun moyen et le brun légèrement rougeâtre. CI-3 (± 10 cm) est un limon très hétérogène, plus humifère, de teinte générale brun moyen à brun foncé, très riche en calcaires. CI-2 (± 10 cm) est un limon hétérogène gris beige clair à quelques bioturbations provenant de CI-1, assez riche en éléments grossiers, très friable (porosité marquée). La limite entre les unités est plus ou moins nette.

Horizon CI-1

Limon assez argileux, brun noirâtre à brun moyen orangé. Les éléments grossiers sont nombreux. La matrice, à structure granulaire nette, est compacte à très compacte et présente une porosité marquée (biogaleries); des revêtements humifères tapissent les pores et les surfaces des unités structurales. Collcutt mentionne la présence locale de petits planchers stalagmitiques en place. Une occupation aurignacienne est associée à la couche.

2.8. Ensemble C0

Cet ensemble n'a pas été concerné par les fouilles de 1996 à 2004. Aucune nouvelle information n'a donc pu être enregistrée depuis la description de Collcutt, que nous résumons ici.

Couches C0-C5A

Limon jaune orangé assez riche en calcaires, dont les petits éléments sont souvent en plaquettes, organisés de manière subhorizontale et ondulante. Éléments remaniés de CI-1. Traces d'un plancher stalagmitique très mince au sommet. Microfaune riche.

Couches C0-C5

Dépôts de granulométrie et de couleurs variées, lités, avec lentilles plus sableuses ou plus argileuses. Allochtones abondants. Quelques calcaires anguleux.

Couches C0-C4A

Limon jaune orangé, localement légèrement lité, avec rares calcaires émoussés.

2.9. Ensemble B

Les dépôts de l'ensemble B ont été fouillés sur l'essentiel du site avant les nouvelles observations qui font l'objet de cet article. Nous renvoyons à la publication de Collcutt (1993) pour la description stratigraphique détaillée de ces dépôts; nous ne présenterons ici que les traits principaux des couches observées par Collcutt ainsi que quelques observations nouvelles. Cet ensemble se distingue clairement des autres par sa géométrie (discordance angulaire observée par Collcutt entre les membres B et C) et sa lithologie (limons jaunes, le plus souvent à calcaires sains et anguleux, tranchant avec les dépôts sous- et sus-jacents). Pas d'allochtones observés lors des nouvelles recherches.

Couche B-B5

Limon un peu argileux, de couleur jaune orangé, avec calcaires; une occupation gravettienne a été rencontrée dans cette unité. Sur la terrasse, cette couche n'a pas été observée, mais la base de l'ensemble B est représentée par un limon très hétérogène, localement argileux, de teinte variant du brun foncé au jaune, et assez riche en calcaires. Ceux-ci présentent un émoussé et un état d'altération très variables (anguleux et sains à émoussés et très altérés). La limite inférieure y est très érosive, avec une structure en chenal aux parois irrégulières de plus d'un mètre de profondeur affectant jusqu'au sommet de l'ensemble DI.

Couches B-B2, B-B3, B-B4

Ces trois couches n'ont pu être distinguées lors de la nouvelle étude stratigraphique. Collcutt mentionne l'impossibilité de distinguer B2 de B4 dans certains secteurs en l'absence de B3, qui se différencie des deux autres uniquement par son contenu plus important en calcaires; or, aucune couche plus caillouteuse n'a pu être mise en évidence sur les coupes étudiées. Quoi qu'il en soit, la matrice est un limon pur, jaune, avec quelques calcaires sains et anguleux, pluricentimétriques à pluridécimétriques. Présence fréquente de carbonates secondaires recouvrant les parois de biogaleries; d'après Collcutt, la plupart de ces " rhyzolites " proviennent de l'ensemble A mais certains sont clairement tronqués à la limite B2/B1.

Couche B-B1

Limon légèrement argileux, jaune à jaune orangé, avec calcaires localement très abondants, relativement anguleux et sains. Collcutt rapporte la

présence de structures de cryoturbation ayant entraîné un agencement particulier des calcaires; partant du sommet de B-B1, elles affectent jusqu'au sommet de B-B2. Rares bioturbations de taille moyenne, à remplissage plus foncé.

2.10. Ensemble A

Les couches de l'ensemble A ont été observées par S. Collcutt (1993). Nous renvoyons à cette publication pour leur description détaillée. A6 est une couche principalement composée de débris de microfaune. A5 est un limon brun orangé, riche en calcaires émoussés et altérés; présence de fragments remaniés de sol. A4 est un limon argileux brun moyen, avec calcaires fréquents; bioturbations de plus en plus fréquentes vers le haut et structure granulaire faiblement développée au sommet. A3 pourrait être une structure anthropique et n'est pas intégrée au log. Quant à A2 et A1, il s'agit d'horizons organiques d'un sol humifère avec bioturbations nombreuses; la matrice, brun foncé, présente une structure développée et est riche en cailloux émoussés et très altérés. D'après Collcutt, une partie de A1 pourrait correspondre à des déblais des anciennes fouilles d'amateurs.

3. Téphrostratigraphie

La téphrostratigraphie consiste en l'étude de la succession des retombées de matériaux éjectés par les volcans. Lorsqu'une retombée volcanique est bien caractérisée minéralogiquement et géochimiquement et que son âge est plus ou moins bien connu, sa reconnaissance au sein d'une séquence donnée est un repère chronostratigraphique extrêmement précieux et sert en outre de point d'ancrage majeur lors de corrélations entre sites par analyse séquentielle. Dans le Pléistocène supérieur de Belgique, quatre téphras ont été identifiés (Juvigné, 1993, 2000) : les téphras du *Laacher See* (± 11.000 BP¹), d'Eltville (16 ka/TL-30.000 BP), de Rocourt (62-106 ka/U-Th) et de Remouchamps (âge minimal de 106 ka/U-Th).

Les premières données concernant les minéraux volcaniques à *Walou* ont été obtenues par Lacroix (1993) dans le cadre des travaux de la SoWaP. Deux téphras avaient ainsi été identifiés. Le premier est le Téphra du *Laacher See* (TLS), présent en quantité

¹ Les dates présentées dans ce travail sont, sauf mention contraire, des dates ¹⁴C. Lorsqu'une date n'est pas une date radiocarbone, la méthode est mentionnée sous la forme ka/TL pour la thermoluminescence et ka/U-Th pour l'Uranium-Thorium.

assez importante dans les couches A6, A5 et A4. Le téphra est en position remaniée; vu l'âge bien connu de l'éruption (environ 11.000 BP : Bogaard & Schmincke, 1985), la date radiocarbone obtenue pour A6 (9.450 ± 270 BP : Gilot, 1993) confirme la position secondaire des minéraux volcaniques. Le second téphra reconnu à Walou par Lacroix est celui de Rocourt (TR). Ses minéraux caractéristiques sont, sur des bases optiques (Gullentops, 1954) confirmées et précisées par des analyses à la microsonde (Bustamante-Santa Cruz, 1973; Juvigné, 1990), un orthopyroxène (enstatite), un clinopyroxène (augite) et une amphibole brune (pargasite-kaersutite). À Walou, la concentration en minéraux volcaniques du TR est moins importante que pour le TLS. Une amphibole brune et un clinopyroxène ont été reconnus dans les couches B1 à C8 de Collcutt; l'enstatite, véritable signature du TR, n'a été identifié qu'en B5. Lacroix en déduit uniquement que les ensembles B et C sont d'âge weichsélien. Pour rappel, l'âge de cette retombée est compris entre 62 et 106 ka/U-Th (Juvigné, 1993) et sa position lithostratigraphique est bien connue dans la séquence des loess de Belgique; en effet, la concentration maximale a été observée dans le pédocomplexe humifère sus-jacent au sol de Rocourt à Kesselt (Juvigné *et al.*, 1996), à Rocourt (Haesaerts *et al.*, 1981), à Tongrinne (Juvigné, 1977) et à Remicourt (Haesaerts *et al.*, 1999) ainsi que dans

un équivalent latéral de ce sol à Harmignies (Juvigné, 1977; Haesaerts *et al.*, 1999). Ce pédocomplexe (ou Complexe Humifère de Remicourt) est positionné par l'un de nous (PH) dans la fin du OIS 5a.

Par la suite, lors des fouilles de 1996-2004 à Walou, V. Renson et É. Juvigné réalisèrent une série d'analyses afin de préciser la position des deux retombées volcaniques précédemment identifiées et éventuellement de mettre en évidence d'autres retombées, notamment celle du Téphra d'Eltville (Renson *et al.*, 2002). La position du TLS fut confirmée, à la base de l'ensemble A de Collcutt, d'âge holocène, témoignant de son remaniement. Quant au TR, des résultats plus complets que ceux de D. Lacroix furent obtenus grâce à un échantillonnage plus large, descendant plus bas dans la stratigraphie (de C6 à D2 dans la stratigraphie de Collcutt). Une concentration maximale a été mise en évidence dans la partie inférieure de l'ensemble C de Collcutt. Toutefois, les analyses eurent lieu avant le réexamen de la stratigraphie de Walou présenté ci-dessus; vu les problématiques géométriques mises en évidence dans le cadre de ces nouveaux relevés, l'attribution stratigraphique précise des échantillons dans la nouvelle séquence était problématique.

De nouveaux échantillons furent prélevés en 2004 dans le cadre de la thèse de doctorat de l'un d'entre nous (SP), avec positionnement stratigraphique

Ensemble	Couche	N° invent.	N° lame	Nombre de grains pour 2g de 105 à 420 µm					
				Minéraux volcaniques				Autres	Indét.
				Opx	Cpx	Amph	Total TR		
CII	CII-7 + CII-6	TEPH-12	4776	64	33	18	115	37	46
CIII	CIII-2	TEPH-11	4775	78	70	16	164	35	13
CIV	CIV-1	TEPH-28	4782	62	62	24	148	50	60
	CIV-2	TEPH-27	4781	24	24	10	58	22	24
	CIV-3	TEPH-26	4780	120	144	42	306	50	112
	CIV-3	TEPH-25	4779	162	242	74	478	100	116
CV	CV-1	TEPH-09	4773	2	5	0	7	4	8
	CV-2	TEPH-08	4772	0	0	0	0	9	6
	CV-2	TEPH-07	4771	0	1	0	1	14	5
	CV-2	TEPH-06	4770	0	0	0	0	3	1
	CV-3	TEPH-05	4769	1	0	0	1	28	10
DI	DI-RoCa	TEPH-04	4768	0	0	0	0	21	4
	DI-LFM	TEPH-03	4767	0	0	0	0	16	2

Fig. 4 — Résultats des comptages de minéraux denses pour la recherche du téphra de Rocourt. Les deux premières colonnes renvoient à la stratigraphie décrite dans le texte. Les deux suivantes concernent le numéro d'inventaire et le numéro de la lame. Les six dernières présentent le nombre de grains de minéraux denses, exprimés en nombre de grains pour 2 g de sédiment (fraction 105 à 420 µm). Opx = orthopyroxène (enstatite); cpx = clinopyroxène; amph = amphibole brune; total TR = nombre total par échantillon de grains d'origine volcanique attribués au Téphra de Rocourt; autres = grains d'origine non-volcanique (grains émoussés de tourmaline, zircon, rutile, grenat, etc.); indét. = grains indéterminés.

minutieux dans la nouvelle séquence. La connaissance de la granulométrie du téphra de Rocourt (Juvigné, 1977, 2000) a conduit à travailler sur la fraction 105-420 µm. La méthodologie suivie est basée sur la centrifugation dans le bromoforme (Juvigné, 1974). Le résultat des premières analyses, correspondant à des raclages larges et continus, est présenté à la figure 4. La concentration maximale en minéraux volcaniques caractéristiques du téphra de Rocourt (enstatite, clinopyroxène et amphibole brune) se situe à la base de l'ensemble CIV, dans la couche CIV-3. La rareté des mêmes minéraux dans les sédiments de CV et la dynamique de mise en place de CIV indiquent clairement que la retombée volcanique a eu lieu entre CV et CIV et qu'elle s'est fait remanier à la base de CIV. Un échantillonnage plus serré a doré et déjà été effectué afin de confirmer, voire d'encore préciser, la position de la retombée.

4. Palynologie

Lors des fouilles de la SoWaP, une étude palynologique fut effectuée par J. Heim (1993). Les échantillons traités à cette occasion concernent l'ensemble A (couches A4 à A6), attribué à la première moitié de l'Holocène, et les ensembles B et C (couches B1 à C1-8), relevant du sommet de la séquence pléistocène. Les résultats pour l'Holocène apparaissent relativement cohérents, avec la mise en évidence d'une succession *Betula*, *Pinus*, *Corylus*, *Tilia*. Les données concernant le Pléistocène sont plus problématiques, notamment en raison de la présence de divers taxons arboréens mésophiles dans un contexte largement dominé par *Pinus* et par les herbacées. Heim envisage une perturbation des sédiments par les mammifères pour expliquer ce type d'assemblages.

Dans le cadre des fouilles récemment menées à la grotte *Walou*, de nouvelles analyses palynologiques ont été entreprises en 2004 afin d'une part, de croiser nos données avec celles de J. Heim et d'autre part, d'étendre la séquence palynologique à la moitié inférieure de la stratigraphie. Le positionnement précis des 55 échantillons palynologiques ainsi prélevés est garanti par une connaissance détaillée de la stratigraphie.

A ce jour, 26 échantillons ont été traités par un procédé physico-chimique d'extraction pollinique mis au point à l'Institut royal des Sciences naturelles de Belgique à partir de la méthode de Bastin (1990). Lorsque cela était possible, un nombre minimum de 400 grains de pollen de plantes terrestres a été compté (aquatiques, hygro- et hydrophiles, indéterminés, intrusifs, spores et microfossiles non pollini-

ques exclus : Berglund & Ralska-Jasiewiczowa, 1986). Au total, 45 taxons ont été identifiés : 17 arbres et arbustes, 26 herbacées et filicales ainsi que 2 algues. Parmi les plantes vasculaires dénombrées, 13 taxons ont été identifiés à l'échelon de la famille, 26 à l'échelon du genre et 1 à l'échelon du type pollinique.

Les résultats sont intégrés à la figure 2, et se présentent sous la forme d'un histogramme synthétique en fréquences relatives (%). Cette représentation simplifiée en surfaces cumulatives des principaux taxons (pins, autres arbres, autres herbacées, Graminées, armoises) a été adoptée afin de figurer au mieux l'évolution générale du paysage par l'opposition pollen arboréen (AP) / pollen non arboréen (NAP) qui sépare les espèces ligneuses des espèces herbacées. L'évolution de ce rapport est supposée retracer les changements dans le degré de fermeture/ouverture du milieu. Un diagramme complet sera présenté dans la monographie en préparation.

La palynologie permet de distinguer deux types d'assemblages.

Assemblages 1

Les assemblages polliniques des couches DI-LJ, DI-JPCa, CIV-3 à CIV-1, CIII-2, CII-7 à CII-2, CI-8, CI-6, CI-5, CI-3, CI-2, B5 et B4 se caractérisent par la dominance des herbacées steppiques héliophiles strictes (armoises, chénopodes, plantains) associées aux Graminées et Composées de types *Cirsium* (Asteroideae) et *Crepis* (Cichorioideae). Ces assemblages très pauvres en pollen d'arbres (% AP de 0,1 à 6 %, surtout *Pinus*) sont interprétés comme dérivés d'environnements totalement déboisés de type steppique. Toutefois, on notera la présence d'un unique reste de trachéide (cellule conductrice de la sève chez les conifères) identifié dans la couche CIV-1.

Assemblages 2

Dans les couches DI-RoCa, CV-3 à CV-1, CIII-1, CII-1 et CI-1, le pin, principal composant arboréen, atteint des valeurs comprises entre 17 et 58 %. L'existence du pin sylvestre dans le proche voisinage du site est bien attestée par l'observation de charbons de bois du type *Pinus sylvestris* à la base de la couche CV-2, et de restes de trachéides dans toutes les couches de ces assemblages. Ceci démontre que l'essentiel des apports polliniques du pin est d'origine locale et ne provient que très secondairement d'un transport à longue distance. En plus du pin, d'autres taxons arboréens étaient conservés. Ainsi, les conifères *Picea* et *Juniperus* ont été notés en proportions plus faibles mais parfois significatives, tandis que les arbustes décidus *Corylus*, *Betula* et *Alnus* se trouvaient principalement représentés vers la base de la séquence, essentiellement dans l'ensemble CV.

À ce stade, l'interprétation environnementale de ces enregistrements polliniques se fonde sur les fluctuations nettes et opposées des pourcentages du pin et des taxons herbacés à dominante steppique. Ainsi, la séquence palynologique de la grotte *Walou* est interprétée comme découlant d'une alternance d'oscillations climatiques positives à l'origine d'une progression de la strate ligneuse dominée par le pin et de phases de péjorations ayant induit la régression des pins et des autres arbres ainsi que l'extension générale de la steppe sur les plateaux du Condroz et de la Hesbaye mosane.

La comparaison de ces données avec celles de Heim (1993) indique une bonne concordance pour les couches CI-8 à CI-1 (C8 à C6 de Heim), malgré les quelques pourcents de pollen de *Quercus* (probablement intrusifs) dans les spectres à caractère steppique de Heim. Par contre, les spectres polliniques de Heim issus des couches B5 à B4 sont radicalement différents de ceux obtenus dans la présente étude; là où nos résultats montrent des assemblages très largement dominés par les taxons herbacés, les spectres équivalents chez Heim enregistrent un net accroissement des pourcentages de *Pinus* (plus de 45 %) accompagné de *Picea* en proportions notables (>2 %) et de taxons mésophiles tels *Quercus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Tilia*, *Corylus* et *Fraxinus*. La position chronostratigraphique de ces couches (§5), indiscutablement attribuées au pléniglaciaire supérieur (OIS 2), suggère pour cet intervalle stratigraphique une meilleure fiabilité de nos résultats comparativement à ceux de Heim. Il faut donc envisager une pollution pour les échantillons de 1993, comme le suggérait déjà leur auteur. Toutefois, ces différences majeures demeurent difficiles à expliquer.

5. Paléoenvironnement et chronostratigraphie

En Belgique, la fraction fine du remplissage des abris-sous-roche et des entrées de grottes est presque entièrement composée de limons éoliens en position secondaire (par exemple Ek *et al.*, 1974, Haesaerts, 1992; Pirson, 2000). La grotte *Walou* ne fait pas exception (Chen *et al.*, 1988). Or, dans les séquences bien développées des loess de Moyenne Belgique, l'information paléoenvironnementale est bien enregistrée; l'interprétation paléoclimatique se base principalement sur l'analyse des sols fossiles, des phénomènes périglaciaires et des structures sédimentaires (Haesaerts, 1974; Haesaerts & Van Vliet, 1981). Les séquences d'entrées de grotte et d'abris-sous-roche, riches en loess et subissant directement les fluctuations de la végétation et du climat comme dans les sites de plein air du domaine loessique, ont donc un potentiel important en tant qu'enregistreurs

du paléoenvironnement. Tester ce potentiel fait partie des objectifs principaux de la thèse de doctorat de l'un d'entre-nous (SP). C'est dans le cadre de ce travail que s'intègre l'analyse de la séquence de *Walou*.

L'interprétation présentée ici (fig. 2) est préliminaire. Elle se base sur la comparaison des données macroscopiques, directement récoltées lors des relevés détaillés des coupes accessibles à *Walou* (paléosols, structures sédimentaires, etc.), avec la séquence pédostratigraphique de référence des loess de Belgique (Gullentops, 1954; Paeppe & Vanhoorne, 1967; Paeppe & Sommé, 1970; Haesaerts, 1974; Haesaerts *et al.*, 1981, 1999; Haesaerts & Mestdagh, 2000). Si les quelques informations disponibles en micromorphologie et en téphrostratigraphie sont intégrées au système, des analyses complémentaires (téphrostratigraphie, micromorphologie, sédimentologie, susceptibilité magnétique) sont en cours. L'interprétation ainsi obtenue est confrontée avec les données des autres disciplines : datations, palynologie, archéologie. La dynamique sédimentaire ainsi que l'intégration des données de la microfaune (M. Turmes) et de la macrofaune (B. De Wilde) seront présentées en détail dans le cadre de la monographie en préparation sur les fouilles de 1996-2004.

L'ensemble DII se distingue nettement des autres ensembles. Ses caractéristiques géométriques et lithologiques sont compatibles avec un *debris flow* (Collcutt, 1993) ou avec un dépôt fluvial. Les analyses sédimentologiques apporteront probablement des précisions quant au mode de mise en place et, peut-être, au paléoenvironnement associé. L'âge de ces dépôts reste délicat à appréhender.

Les dépôts des ensembles postérieurs sont surtout composés de limons d'origine éolienne issus du plateau empâtant des blocs de calcaires. À ces composants majeurs s'ajoutent des galets de roches siliceuses et du sable, provenant probablement d'un lambeau d'une ancienne terrasse alluviale sur le plateau, ainsi que des restes osseux et du matériel archéologique en quantité variable. Ces dépôts sont à rapprocher des " remplissages de karst ouvert " de Campy (1982 : 275-278).

L'ensemble DI débute par plusieurs couches de limons colluviés au sommet desquels s'est développée une pédogenèse importante (horizons DI-JCa, RoCa et BT). La présence de revêtements argileux bien développés sur les surfaces des unités structurales de l'horizon DI-BT, visible macroscopiquement et confirmée en lame mince, démontre la présence d'un horizon B2t d'un sol brun lessivé. L'altération poussée des calcaires (souvent en " fantômes ") et la présence abondante de carbonates secondaires sont probablement à mettre en relation avec cette pédogenèse. Cet horizon est comparable

aux horizons illuviaux du “ sol de Rocourt ”, pédocomplexe classiquement attribué à la succession Eemien-Melisey 1-Saint-Germain 1 (OIS 5e à 5c) dans le domaine des loess belges (Haesaerts & Van Vliet, 1974; Haesaerts, 1984; Haesaerts *et al.*, 1999). Dans des conditions exceptionnelles, deux horizons B2t sont enregistrés successivement, interprétés comme relevant des stades isotopiques 5e et 5c, comme à Harmignies ou à Remicourt (Haesaerts, 1974; Haesaerts & Van Vliet, 1974; Haesaerts *et al.*, 1999; Haesaerts & Mestdagh, 2000). L'analyse micromorphologique détaillée du B2t de *Walou* devra tester la présence de deux illuviations. La présence du tuf de Rocourt à l'interface entre les ensembles CV et CIV (§3) ainsi que la date TL obtenue par N. Debenham sur calcaires brûlés issus de la base de CV-2 ($90,3 \pm 4,6$ ka BP) renforcent l'interprétation chronostratigraphique. Il est important d'insister sur le caractère exceptionnel de la présence d'un tel paléosol en contexte karstique : il s'agit en effet de la première observation du genre en Belgique et, selon nos connaissances, en Europe. Chronostratigraphiquement, les limons sous-jacents au Bt seraient à placer dans le stade isotopique 6, voire dans un épisode froid antérieur. Dans les couches DI-LJ et DI-JPCa, le contenu pollinique confirme la tendance steppique de l'environnement (assemblages de type 1, cf. §4).

La base de l'ensemble CV (CV-3), érosive sur l'ensemble DI, est constituée de colluvions remaniant le Bt développé au sommet de DI; les concrétions carbonatées en position secondaire trouvent là leur origine. La couche CV-2 reflète le remaniement d'un sol humifère développé sur les colluvions de type CV-3; ce sol n'a pas été observé en place. Quant à l'horizon CV-1, il correspond à un paléosol humifère bien développé et en place; cette pédogenèse a affecté le sommet de CV-2. La forte altération des calcaires de ces unités est probablement à mettre en relation avec les pédogenèses humifères de l'ensemble CV. L'analyse palynologique offre une image nettement plus tempérée de l'ensemble CV (assemblages de type 2) que celle disponible pour l'ensemble DI. On y observe l'oscillation climatique considérée comme la plus chaude et la plus humide de la séquence pléistocène si l'on en juge par les valeurs appréciables de *Corylus* et d'*Alnus* au sein des couches CV-3 à CV-1. La position du téphra de Rocourt entre les ensembles CV et CIV (§3) indique que CV doit être antérieur au Complexe Humifère de Remicourt de la séquence lœssique de plein air, attribué à la fin du OIS 5a (Haesaerts & Mestdagh, 2000). L'ensemble de ces données et la date de $90,3 \pm 4,6$ ka BP, obtenue pour la base de CV-2 par thermoluminescence sur des calcaires brûlés associés à une concentration de charbons de bois de *Pinus*, plaident pour le positionnement de CV dans les OIS 5b et 5a.

Les couches de l'ensemble CIV s'inscrivent dans une géométrie de chenal, avec parois irrégulières et subverticales, évoquant un chenal de fusion (dégradation d'un sol gelé, peut-être d'un permafrost). Les informations relevées sur les coupes accessibles et l'intégration des données enregistrées au cours des fouilles depuis 1996 plaident en faveur de l'existence d'une grande structure en chenal qui passe à travers le site; la mise en place de cette structure et son comblement peuvent avoir été assez rapides. La grande hétérogénéité des sédiments de cet ensemble reflète le remaniement des couches sous-jacentes, probablement couplé à un apport du plateau. Dans l'ensemble, CIV traduit des conditions froides et une dynamique de dépôt importante qui se distinguent nettement des conditions plus clémentes de CV. Le caractère froid de l'environnement est confirmé par la palynologie (assemblages de type 1); le reste de trachéide isolé est sans doute remanié de CV. L'ensemble CIV pourrait ainsi correspondre au début du pléniglaciaire inférieur (OIS 4).

La couche CIII-3 s'est probablement mise en place parallèlement à la phase érosive de la base de l'ensemble CIII; elle remanie les couches sous-jacentes (principalement l'ensemble CV, ce qui explique la composante humifère) mais comprend également une composante nouvelle, proche du sédiment de CIII-2. Cette couche CIII-2, avec sa matrice limoneuse claire et homogène, correspond vraisemblablement au remaniement du premier apport éolien allochtone du Weichsélien enregistré sur le site. Son contenu pollinique traduit un environnement steppique, compatible avec cette interprétation. Quant à la couche CIII-1, son homogénéité, sa compaction et sa couleur évoquent un petit paléosol avec illuviation, mais en position secondaire comme en témoigne le silt clair au centre de la couche. La fin de l'ensemble CIII correspondrait donc à un interstade. Cette interprétation est confirmée par l'analyse palynologique, qui montre clairement un enrichissement en pollen de conifères (assemblages de type 2). Une couche présentant des caractéristiques macroscopiques proches de celles de CIII-1, rencontrée à la grotte Scladina lors des relevés microstratigraphiques entamés fin 2003 par l'un d'entre-nous (SP), a livré un petit plancher stalagmitique (observation inédite dans le complexe “ 1B ”) et un pic positif de susceptibilité magnétique (Ellwood *et al.*, 2004), ce qui plaide également en faveur d'un interstade. Dans la séquence des loess de Moyenne Belgique, un petit paléosol avec faible illuviation a été décrit à Harmignies dans la partie inférieure des dépôts du Weichsélien (Haesaerts & Van Vliet, 1974) : le sol de Malplaquet; sous ce sol on rencontre les premiers loess du Weichsélien (Harmignies et Remicourt : Haesaerts & Mestdagh, 2000). Si le parallélisme se confirme, l'ensemble CIII de la sé-

quence de *Walou* pourrait être attribué au pléniglaciaire inférieur du Weichsélien (OIS 4).

L'ensemble CII débute avec une phase érosive localement assez importante (CII-7). Les couches CII-6 à CII-2 enregistrent le remaniement de limons d'origine lœssique. Enfin, la couche CII-1 évoque un paléosol avec faible illuviation, au moins en partie remanié (à confirmer en lame mince). La grande quantité de concrétions carbonatées présentes dans la couche CII-1 ainsi que dans les couches sous-jacentes témoignent de l'existence d'une pédogenèse. D'un point de vue paléoclimatique, la plus grande partie de CII reflète des conditions globalement froides, ce que confirment les enregistrements palynologiques issus des couches CII-7 à CII-2. Par contre, la couche CII-1 pourrait, au même titre que la couche CIII-1, indiquer des conditions interstadias comme le suggèrent les indices de pédogenèse et les proportions relativement importantes du pollen des conifères (assemblages de type 2). La position chronostratigraphique de cet ensemble est délicate à préciser. Il pourrait correspondre au début du pléniglaciaire moyen du Weichsélien (OIS 3) ou à une phase tardive du pléniglaciaire inférieur (OIS 4). Vu sa position dans la séquence, le sol CII-1 pourrait correspondre au sol des Vaux de la séquence des loess de Moyenne Belgique (Haesaerts & Van-Vliet, 1974; Haesaerts *et al.*, 1999; Haesaerts, 2000). La date obtenue pour la base de l'ensemble CI (>42.000 BP) est compatible avec ces hypothèses.

La base de l'ensemble CI correspond à nouveau à des limons lœssiques remaniés. L'ensemble CI se termine par le développement d'un horizon humifère très important (CI-1), témoin d'une amélioration climatique. La présence d'un petit spéléothème dans cette couche (Collcutt, 1993) confirme cette interprétation, de même que le signal palynologique (assemblages de type 2) et l'étude de la microfaune réalisée lors des fouilles de la SoWaP par J.-M. Cordy (1993). La position de CI dans la séquence de *Walou* et la comparaison avec la séquence de référence des loess de Moyenne Belgique plaident pour son attribution au pléniglaciaire moyen du Weichsélien (OIS 3). Le matériel archéologique récolté (occupations moustérienne dans CI-8 et aurignacienne dans CI-1) ainsi que les dates radiocarbone obtenues pour ces unités (fig. 2) confirment cette interprétation.

La première couche de l'ensemble C0 (C0-C5A) remanie en partie CI-1. Les indices de déplacement en masse induits par la glace (Collcutt, 1993) évoquent des conditions froides et humides; la macrofaune confirme la tendance froide (Simonet, 1993). Une légère amélioration, marquée par le petit spéléothème au sommet de C0-C5A, fait la transition avec C0-C5. Collcutt interprète cette dernière couche comme liée à du ruissellement et à l'existence de

petites flaques. C0-C4A est trop peu représentée pour permettre une conclusion paléoenvironnementale. Vu sa position dans la séquence, l'ensemble C0 représente la fin du OIS 3 ou le début du OIS 2.

L'importante phase érosive de la base de l'ensemble B (discordance angulaire et chenal) est à l'origine de la grande hétérogénéité de la base du remplissage (mélange entre couches sous-jacentes). Pour le reste, l'ensemble B traduit un important apport éolien. Une telle accumulation de lœss cadre bien avec le début du pléniglaciaire supérieur (OIS 2), enregistrant en plein air d'importants dépôts éoliens allochtones entre ± 25.000 et ± 20.000 BP (Haesaerts, 1984). L'occupation gravettienne et les dates radiocarbone de B5 (21.200 à 25.900 BP) confirment ce parallélisme. Toutefois, les indices archéologiques (Magdalénien en B4, Creswellien en B1) et les dates radiocarbone des couches B4 à B1 comprises entre ± 13.000 BP et ± 10.000 BP suggèrent l'attribution de la plus grande partie de l'ensemble B au tardiglaciaire. Le remaniement des loess par ruissellement pourrait expliquer ce décalage. Les spectres polliniques disponibles correspondent à des conditions steppiques arides et froides, en accord avec l'interprétation chronostratigraphique. Signalons pour terminer le hiatus entre les couches B2 et B1 déduit à la fois par l'archéologie (Dewez *et al.*, 1993), la stratigraphie (Collcutt, 1993), les dates ^{14}C (Gilot, 1993) et l'étude palynologique de Heim (1993); Collcutt voit dans les rhyzolithes tronqués entre B1 et B2 la racine du paléosol d'âge Alleröd, B1 se rapportant alors au Dryas récent. Cette interprétation pose cependant problème par rapport à la position du téphra du *Laacher See* (cf. §3).

L'ensemble A n'a pu être observé en détail en raison de l'état du site; seul sera fourni ici un résumé des conclusions basées sur les études réalisées dans le cadre des fouilles de la SoWaP, principalement les données palynologiques (Heim, 1993) et archéologiques (Dewez *et al.*, 1993), complétées par une analyse plus récente de la microfaune (Turmes, 1996). La séquence stratigraphique indique, avec un sol humifère bien développé, des conditions clémentes. La position de l'ensemble A dans la séquence de *Walou* permet de proposer un âge holocène, ce qui est confirmé par la présence de minéraux remaniés du Téphra du *Laacher See* à la base de l'ensemble (§3). Une date radiocarbone dans la couche A6 (9.400 BP) ainsi que l'archéologie confirment encore cette interprétation, des traces de Mésolithique ayant été découvertes dans les couches A5 et A4 et un peu de Néolithique dans la couche A2. La présence d'espèces domestiques dès A5 est également à signaler (Cordy & Udrescu, inédit, in Turmes, 1996 : 120). La palynologie et la microfaune poussent plus loin

l'interprétation chronostratigraphique : pour Heim (1993), la couche A5 correspondrait au Préboréal, la transition A5/A4 au Boréal et A4 à l'Atlantique; pour Turmes (1996), A6 correspond au Préboréal, A5 au Boréal, A4 à l'Atlantique et A2 au Subboréal.

6. Conclusion

Lorsque les épaisseurs maximales de chaque couche des différents secteurs de la grotte sont cumulées, la stratigraphie de *Walou* atteint plus de 10 m. La téphrostratigraphie, l'archéologie, les dates (C^{14} et TL) et la bonne corrélation avec la séquence pédostratigraphique des lœss de Moyenne Belgique permettent le positionnement chronostratigraphique précis de cette séquence exceptionnelle. Lors des travaux antérieurs (Dewez *et al.*, 1993; Turmes, 1996; Pirson & Toussaint, 2002), la bonne représentation de l'Holocène et du sommet du Weichsélien avait été démontrée (OIS 1, 2 et 3 pro parte); l'analyse microstratigraphique de la moitié inférieure du remplissage nous permet de proposer l'extension de la séquence au reste du pléniglaciaire moyen (OIS 3), au pléniglaciaire inférieur (OIS 4), au début glaciaire (OIS 5a à 5d), à l'Eemien (OIS 5e), ainsi qu'à des dépôts antérieurs, sans doute saaliens pour partie (OIS 6 ou antérieurs). Ceci fait de la séquence de la grotte *Walou* une des plus complètes pour le Pléistocène supérieur belge en contexte karstique.

Les informations pédologiques et sédimentaires enregistrées à *Walou* démontrent l'important potentiel paléoenvironnemental de la séquence. La mise en évidence de nombreux parallélismes avec la séquence de référence du domaine lœssique (Haesaerts *et al.*, 1999 : 21) et l'excellente corrélation avec les données de l'étude palynologique renforcent la cohérence du système.

Quoique les interprétations préliminaires obtenues à *Walou* ouvrent des perspectives intéressantes, elles devront être confrontées aux analyses futures (notamment la micromorphologie, la sédimentologie et la susceptibilité magnétique), ainsi qu'aux données de la microfaune et de la macrofaune. De même, la reproductibilité des signaux enregistrés devra être testée par l'étude d'autres séquences du même environnement sédimentaire. Si la comparaison des grandes unités de plusieurs sites est encourageante (Pirson, 2002; Pirson & Toussaint, 2002), des corrélations plus détaillées sont nécessaires, notamment pour confirmer le caractère global de l'information paléoclimatique. Dans cette optique, le suivi continu de la fouille de divers sites préhistoriques a été entrepris par l'un de nous (SP), en étroite collaboration avec les archéologues. Des relevés

stratigraphiques détaillés sont ainsi en cours, notamment à la grotte Scladina (Andenne) qui présente comme *Walou* une séquence très bien documentée pour le Pléistocène supérieur. L'apport principal de notre démarche stratigraphique et paléoenvironnementale vise à l'élaboration d'une séquence de référence pour le Pléistocène supérieur dans les entrées de grottes et les abris-sous-roche de Belgique, séquence dont les résultats obtenus à *Walou* donnent déjà un bon aperçu. Elle ambitionne également une meilleure compréhension de la dynamique sédimentaire de cet environnement géologique particulier. Il existe donc actuellement une opportunité de combler les lacunes importantes concernant le milieu karstique wallon, liées entre autres à la vidange précoce de la plupart des cavités majeures (Pirson & Draily, 2003). Ce travail devrait en outre déboucher sur la précision du contexte des restes osseux humains pléistocènes et des nombreuses occupations préhistoriques des grottes belges.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Louis Bruzzese (Association wallonne d'Etudes mégalithiques), Joël Éloy (Découverte géologique de Comblain-au-Pont et environs), Éric Dermience (Institut royal des Sciences naturelles de Belgique) et Élisabeth Tallier (Université de Liège) pour leur assistance technique, ainsi que Michel Toussaint (Direction de l'Archéologie de la Région wallonne) et Jean-Marc Baele (Faculté Polytechnique de Mons) pour leur disponibilité. Etienne Juvigné (Université de Liège) nous a accueilli dans son laboratoire et nous a guidé dans la problématique du téphra de Rocourt; qu'il trouve ici l'expression de notre gratitude. Enfin, merci à Nick Debenham (*Quaternary TL Surveys*, Nottingham) pour l'autorisation de publier une date inédite.

Bibliographie

- BASTIN B., 1990. L'analyse pollinique des concrétions stalagmitiques : méthodologie et résultats en provenance des grottes belges. *Karstologia*, mémoire, 2 : 3-11.
- BERGLUND B. E. & RALSKA-JASIEWICZOWA M., 1986. Pollen analysis and pollen diagrams. In : Berglund B. E. (éd.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Chichester, John Wiley & Sons : 455-484.
- BOGAARD VAN DEN P. & SCHMINCKE H.-U., 1985. *Laacher See Tephra : A widespread isochronous late Quaternary tephra layer in central and northern Europe*. *Geological Society of America Bulletin*, 96 : 1554-1571.

- BUSTAMANTE-SANTA CRUZ L., 1973. *Les minéraux lourds des alluvions sableuses du bassin de la Meuse*. Thèse, Katholieke Universiteit Leuven, 355 p.
- CAMPY M., 1982. *Le Quaternaire Franc-Comtois. Essai chronologique et paléoclimatique*. Faculté des Sciences et des Techniques, Besançon, Université de Franche-Comté, 559 p.
- CHEN Z., EK C. & LACROIX D., 1988. Sédimentologie de quelques loess de la grotte *Walou*, à Trooz. *Bulletin des Chercheurs de la Wallonie*, 28 : 66-79.
- COLLCUTT S., 1993. Physical sedimentology of the deposits of the grotte *Walou* (province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Colcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Palethnologie, Liège, 7 : 11-22.
- CORDY J.-M., 1993. L'interstade d'Arcy d'après les micromammifères de la couche aurignacienne de la grotte *Walou* à Trooz (Province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Colcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Palethnologie, Liège, 7 : 37-43.
- DEWEZ M., COLLCUTT S. N., CORDY J.-M., GILOT É., GROESSENS-VAN DYCK M.-C., HEIM J., KOZŁOWSKI S., SACHSE-KOZŁOWSKA E., LACROIX D. & SIMONET P., 1993. *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Liège, Société Wallonne de Palethnologie, 7 : 81 p.
- DRAILY C., 1998. Campagnes de fouilles 1996-1998 à la grotte *Walou* à Trooz. *Notae Praehistoricae*, 18 : 25-32.
- DRAILY C., 2004, ce volume. Bilan sur les occupations moustériennes de la grotte *Walou* à Trooz (province de Liège, Belgique) et essai d'interprétation des couches à faible densité de matériel lithique. *Notae Praehistoricae*, 24.
- EK C., ALEXANDRE-PYRE S. & JUVIGNÉ É., 1974. Étude sédimentologique dans la grotte de Remouchamps, in Nouvelles recherches à la Grotte de Remouchamps. *Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 85 : 16-41.
- ELLWOOD B. B., HARROLD F. B., BENOIST S. L., THACKER P. T., OTTE M., BONJEAN D., LONG G. J., SHAHIN A. M., HERMANN R. P. & GRANDJEAN F., 2004. Magnetic susceptibility applied as an age-depth-climate relative dating technique using sediments from Scladina Cave, a Late Pleistocene cave site in Belgium. *Journal of Archaeological Science*, 31 : 283-293.
- GILOT, É., 1993. Liste des datations 14C effectuées sur du matériel de la grotte *Walou* à Trooz (province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Colcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Palethnologie, Liège, 7 : 23.
- GULLENTOPS F., 1954. *Contributions à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique*. Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain, 18 : 125-252.
- HAESAERTS P., 1974. Séquence paléoclimatique du Pléistocène supérieur du bassin de la Haine (Belgique). *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97 (1) : 105-137.
- HAESAERTS P., 1984. Aspects de l'évolution du paysage et de l'environnement en Belgique au Quaternaire. In : Cahen D. & Haesaerts P. (éd.), *Peuples chasseurs de la Belgique préhistorique dans leur cadre naturel*. Bruxelles : 27-39.
- HAESAERTS P., 1992. Les dépôts pléistocènes de la terrasse de la grotte Scladina à Sclayn (province de Namur, Belgique). In : *Recherches aux grottes de Sclayn. Volume 1 : Le contexte*, E.R.A.U.L. Liège, 27 : 33-55.
- HAESAERTS P., JUVIGNÉ É., KUYL O., MUCHER H. & ROEBROEKS W., 1981. Compte rendu de l'excursion du 13 juin 1981, en Hesbaye et au Limbourg néerlandais, consacrée à la chronostratigraphie des loess du Pléistocène supérieur. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 104 : 223-240.
- HAESAERTS P. & MESTDAGH H., 2000. Pedosedimentary evolution of the last interglacial and early glacial sequence in the European loess belt from Belgium to central Russia. *Geologie en Mijnbouw*, 79 (2-3) : 313-324.
- HAESAERTS P., MESTDAGH H. & BOSQUET D., 1999. The sequence of Remicourt (Hesbaye, Belgium) : new insights on the pedo- and chronostratigraphy of the Rocourt Soil. *Geologica Belgica*, 2 (3-4) : 5-27.
- HAESAERTS P. & VAN VLIET-LANOË B., 1974. Compte rendu de l'excursion du 25 mai 1974 consacrée à la stratigraphie des limons aux environs de Mons. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97 : 547-560.
- HAESAERTS P. & VAN VLIET-LANOË B., 1981. Phénomènes périglaciaires et sols fossiles observés à Maisières-Canal, à Harmignies et à Rocourt. *Biuletyn Peryglacjalny*, 28 : 291-324.
- HEIM J., 1993. Résultats palynologiques préliminaires de la grotte *Walou* à Trooz (Province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Colcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Palethnologie, Liège, 7 : 33-35.
- JUVIGNÉ É., 1974. Un perfectionnement de la méthode de séparation des minéraux denses des loess. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97 (1) : 287-288.

JUVIGNÉ É., 1977. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt. *Annales de la Société géologique de Belgique*, 100 : 13-22.

JUVIGNÉ É., 1990. About some widespread Late Pleistocene tephra horizons in Middle Europe. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paleontologie, Mh*, 4 : 215-232.

JUVIGNÉ É., 1993. *Contribution à la téphrostratigraphie du Quaternaire et son application à la géomorphologie*. Mémoires pour servir à l'Explication des Cartes Géologiques et Minières de la Belgique, 36, 66 p.

JUVIGNÉ É., 2000. Téphrostratigraphie du Quaternaire en Belgique. *Geologica Belgica*, 2/1999 (1-2) : 73-87.

JUVIGNÉ É., HAESAERTS P., MESTDAGH H., PISSART A. & BALESU S., 1996. Révision du stratotype loessique de Kesselt (Limbourg, Belgique). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 323 (série IIa) : 801-807.

LACROIX D., 1993. Les minéraux denses transparents des dépôts de la grotte *Walou* à Trooz (Province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Collcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Paléontologie, Liège, 7 : 25-31.

LALOUX M., DEJONGHE L., GHYSEL P. & HANCE L., 1996. Notice explicative de la carte géologique de Wallonie n° 42/7-8 "Fléron-Verviers", Ministère de la Région wallonne (DGRNE), 150 p.

PAEPE R. & SOMMÉ J., 1970. Les loess et la stratigraphie du Pléistocène dans le Nord de la France et en Belgique. *Annales de la Société géologique du Nord*, 90 (4) : 191-201.

PAEPE R. & VANHOORNE R., 1967. *The Stratigraphy and Palaeobotany of the Late Pleistocene in Belgium*. Mémoires pour servir à l'explication des Cartes géologiques et minières de la Belgique, Bruxelles, 8 : 96 p.

PIRSON S., 2000. Étude sédimentologique préliminaire au Trou AI'Wesse (Modave, Belgique). *Bulletin des Chercheurs de la Wallonie*, 39/1999 : 115-162.

PIRSON S., 2002. New data on the chronostratigraphy of karstic sequences in Belgium: the role of prehistoric sites. In : Degryse P. & Sintubin M. (éd.), *Contributions to the Geology of Belgium and Northwest Europe. Proceedings of the first Geologica Belgica International Meeting, Aardkundige Mededelingen*. Leuven, 12 : 137-140.

PIRSON S. & DRAILY C., 2003. Trooz/Forêt : la séquence stratigraphique de la grotte *Walou*, clé pour le décodage des sites karstiques ? *Chronique de l'Archéologie wallonne*, 11 : 94-97.

PIRSON S. & TOUSSAINT M., 2002. Recherches récentes

relatives à l'homme fossile et à son paléoenvironnement dans le karst mosan. *Bulletin des Chercheurs de la Wallonie*, XLI : 85-99.

RENSON V., JUVIGNÉ É. & DRAILY C., 2002. Intérêt de la téphrostratigraphie dans le site archéologique et paléontologique du Pléistocène supérieur et de l'Holocène de la grotte *Walou* (Trooz, Belgique). In : Raynal J.-P., Albore-Livadie C. & Piperno M. (éd.), *Hommes et volcans. De l'éruption à l'objet*. Les dossiers de l'Archéo-Logis, Clermond-Ferrand, 2 : 23-30.

SIMONET P., 1993. Aperçu général de la macrofaune de la grotte *Walou* à Trooz (Province de Liège, Belgique). In : Dewez M., Collcutt S. N., Cordy J.-M., Gilot É., Groessens-Van Dyck M.-C., Heim J., Kozłowski S., Sachse-Kozłowska E., Lacroix D. & Simonet P. (éd.), *Recherches à la grotte Walou à Trooz (province de Liège, Belgique). Premier rapport de fouille*, Société Wallonne de Paléontologie, Liège, 7 : 61-62.

TURMES M., 1996. Étude des associations de microvertébrés des couches holocènes de la grotte *Walou*. *Bulletin des Chercheurs de la Wallonie*, 36 : 119-140.

Stéphane Pirson
Mona Court-Picon
Freddy Damblon
Paul Haesaerts
Institut royal des Sciences naturelles de Belgique
Département de Paléontologie
Rue Vautier, 29
BE - 1000 Bruxelles (Belgique)
stef.pirson@skynet.be

Christelle Draily
Découverte géologique de
Comblain-au-Pont et environs
c/o Service de l'archéologie
Ministère de la Région wallonne
Avenue des Tilleuls, 62
BE - 4000 Liège (Belgique)