



HAL
open science

Nouvelles données sur le Pléistocène du nord du Bassin parisien: les séquences loessiques de Villiers-Adam (Val d'Oise, France)

Pierre Antoine, Jean Jacques Bahain, Nick Debenham, Manfred Frechen, Agnès Gauthier, Christine Hatté, Nicole Limondin-Lozouet, Jean-luc Locht, Pascal Raymond, Denis Didier Rousseau

► To cite this version:

Pierre Antoine, Jean Jacques Bahain, Nick Debenham, Manfred Frechen, Agnès Gauthier, et al.. Nouvelles données sur le Pléistocène du nord du Bassin parisien: les séquences loessiques de Villiers-Adam (Val d'Oise, France). *Quaternaire*, 2003, 14 (4), pp.219–235. 10.3406/quate.2003.1744 . hal-02478063

HAL Id: hal-02478063

<https://hal.science/hal-02478063>

Submitted on 19 Oct 2020

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

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

NOUVELLES DONNÉES SUR LE PLÉISTOCÈNE DU NORD DU BASSIN PARISIEN : LES SÉQUENCES LOESSIQUES DE VILLIERS-ADAM (Val d'Oise, France)

■
Pierre ANTOINE¹, Jean-Jacques BAHAIN², Nick DEBENHAM³, Manfred FRECHEN⁴,
Agnès GAUTHIER¹, Christine HATTÉ⁵, Nicole LIMONDIN-LOZOUET¹,
Jean-Luc LOCHT⁶, Pascal RAYMOND⁷ et Denis-Didier ROUSSEAU⁸

RÉSUMÉ

Les terrassements occasionnés par l'édification d'une voie rapide à Villiers-Adam (Val d'Oise) ont permis de mettre au jour d'importantes séquences pédosédimentaires pléistocènes en domaine loessique (loess / sables / paléosols), ainsi qu'un niveau préhistorique attribuable au Paléolithique moyen récent. L'important travail pluridisciplinaire qui a été engagé à cette occasion (stratigraphie, sédimentologie, micromorphologie, malacologie, palynologie, datations TL-IRSL et archéologie préhistorique) a notamment débouché sur la caractérisation détaillée de trois grandes séquences emboîtées de type glaciaire-interglaciaire (ép. cumulée 19 m), attribuables au Pléistocène moyen récent (SIM 8/7 et 7/6) et supérieur (SIM 5 à 2) (± 300 à 15 ka BP env.). Par ailleurs, cette étude a permis de mettre en évidence un enregistrement pédosédimentaire très complet du Début-Glaciaire weichselien (112-70 ka BP) et un complexe de sols interstadiers exceptionnellement dilaté correspondant au bilan du Pléniglaciaire moyen weichselien (± 55 -30 ka BP). Dans une région où les données sur les loess et notamment ceux du Pléistocène moyen récent étaient jusqu'alors assez rares, ces recherches ont donc permis de définir une coupe type régionale qui apporte de nombreux compléments au système stratigraphique des régions voisines et fournissent la première base de donnée analytique de référence pour la France septentrionale.

Mots-clés : Loess, Paléosols, Pléistocène, Saalien, Eemien, Weichselien, Paléolithique moyen, Bassin Parisien.

ABSTRACT

NEW DATA ON THE PLEISTOCENE OF THE NORTH OF THE PARIS BASIN : THE LOESS-PALAEOSOLS SEQUENCES OF VILLIERS-ADAM (Val d'Oise, France)

The excavation linked to the building of a new high way at Villiers-Adam (Val d'Oise France) allowed discovering of very important Pleistocene loess and palaeosols pedosedimentary sequences, and a Palaeolithic level attributable to the young phase of the Middle Palaeolithic (± 100 ka BP). The very important interdisciplinary work that has been overtaken (stratigraphy, sedimentology, micromorphology, malacology, palynology and TL-IRSL dating) has led to the detailed characterisation of three overlapping Glacial-interglacial sequences (cumulative thickness: 19 m), dating from the Younger Middle Pleistocene (MIS 8/7 and 7/6), to the Upper Pleistocene (MIS 5 to 2) (± 300 to 15 ka BP).

In addition this study has provided a very complete record of the Weichselian Early-Glacial period (± 112 -70 ka BP), and an exceptionally developed interstadial soil complex corresponding to the Weichselian Middle Pleniglacial (± 55 -30 ka BP). In an area where the data concerning loess, and especially Middle Pleistocene loess, were very poor, these research provide a regional type sequence including a lot of new elements to the stratigraphical scheme of the bordering area, and the first reference analytical data base for northern France.

Key-words : Loess, Palaeosols, Pleistocene, Saalian, Eemian, Weichselian, Middle Palaeolithic, Paris Basin.

1 - UMR CNRS 8591 " Environnements quaternaires continentaux, dynamique naturelle et anthropisation ", Laboratoire de Géographie Physique 1, Place Aristide Briand, 92195 MEUDON cedex, E-mail : Pierre.Antoine@cnrs-bellevue.fr / limondin@cnrs-bellevue.fr / agnes.gauthier@cnrs-bellevue.fr

2 - Institut de Paléontologie Humaine, Département de Préhistoire du Muséum National d'Histoire Naturelle (USM204), FRE 2677 du CNRS, 1 rue René Panhard, F-75013 PARIS. E-mail : bahain@mnhn.fr

3 - TL Quaternary Survey, NOTTINGHAM, U.K. E-mail : n.debenham@qtls.globalnet.co.uk

4 - Institut für Geowissenschaftliche Gemeinschaftsaufgaben (GGA), S3 : Geochronologie und Isotopenhydrologie, Stilleweg 2, D-30631 HANNOVER. E-mail : M.Frechen@gga-hannover.de

5 - Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement, UMR CEA-CNRS 1572, Avenue de la Terrasse, F-91198 GIF-SUR-YVETTE Cedex, E-mail : Christine.Hatte@lsce.cnrs-gif.fr

6 - INRAP, 518, rue Saint-Fuscien, 80000 Amiens et CNRS ESA 8018 "Préhistoire et Quaternaire", Université des Sciences et Technologies de Lille, Av. P. Langevin, F-59655 VILLENEUVE D'ASCQ Cedex. E-mail : nord-picardie@inrap.fr

7 - INRAP, 32, rue Delizy, F-93698 PANTIN Cedex. E-mail : topo.inrap@wanadoo.fr

8 - Université Montpellier II, Paléoenvironnements & Palynologie, Institut des Sciences de l'Évolution (UMR CNRS 5554), pl. E. Bataillon, F-34095 MONTPELLIER cedex 05. E-mail : denis@dstu.univ-montp2.fr

I - INTRODUCTION

Entre 1995 et 2000, les travaux de terrassements et les diagnostics archéologiques effectués dans le cadre de l'opération Francilienne Nord-liaison Cergy-Roissy ont permis la découverte de plusieurs séquences pléistocènes sur le territoire de la commune de Villiers-Adam (Val d'Oise), à environ 35 km au nord de Paris, à l'extrémité occidentale de la Plaine de France, au sud de la zone des loess (fig. 1). La première, au lieu-dit «le Chamesson», est apparue en 1995 lors des décaissements occasionnés par la construction d'un ouvrage d'art ; la seconde fut découverte en 1996 au lieu-dit «le Petit Saule» et comporte un niveau d'occupation humaine attribuable à la phase récente du Paléolithique moyen (Bahain *et al.*, 1996 ; Loch *et al.*, 1997, sous presse) ; la troisième, dénommée VA-99, a été observée lors du terrassement final préalable à la réalisation de la voie rapide en 1999. Les profils étudiés se répartissent sur le versant en pente douce, exposé au nord-nord-est, d'une vallée sèche asymétrique affluente en rive gauche de l'Oise, située 3 à 4 km à l'ouest-nord-ouest (fig. 2).

Une étude pluridisciplinaire de ces séquences a été entreprise dès 1995, afin d'améliorer la connaissance du Quaternaire dans une région où les données sur le Pléistocène récent étaient jusqu'alors peu nombreuses et essentiellement liées à l'établissement de la carte géologique dans les années 1970 (Cavelier, 1967 ; Pomerol et Feugueur, 1974 ; Wyns et Monciardini, 1979), puis plus récemment à la synthèse de Lebrét et Halbout (1991). Le but de cet article est de proposer un aperçu synthétique des principaux résultats stratigraphiques, paléopédologiques, sédimentologiques, géochronologiques et paléoenvironnementaux issus de cette étude.

II - STRATIGRAPHIE ET SÉDIMENTOLOGIE

L'étude stratigraphique des différents profils a permis de mettre en évidence, au niveau du Chamesson, une séquence initiale complexe de 21 unités, (numérotées de 0 à 21) reposant sur un cailloutis grossier (22) ou sur le substratum tertiaire (23, *Sables de Beauchamp*, Bartonien-Auverisien) (fig. 3 et 4).

À cette série de référence s'ajoutent des unités spécifiques, observées par la suite dans les profils VA-99 (talus Nord, TN-1 à TN-6 (fig. 5 et 6), et sur la fouille du Petit Saule (PSF) (fig. 9). Enfin, un profil synthétique a été construit sur la base de la corrélation des différentes séquences par l'intermédiaire de nombreux horizons repères, notamment pédologiques (fig. 4, 7 et 8).

Pour chaque profil, un levé détaillé (5 cm/1 m), dans lequel sont localisés tous les échantillons, a été effectué. Un échantillonnage systématique de chaque séquence a en effet été réalisé afin d'effectuer les études suivantes : mesure de la susceptibilité magnétique, granulométrie, calcimétrie, dosage du fer total, du carbone organique et du $\delta^{13}C$ de la matière organique, études micromorphologiques, malacologiques et palynologiques, datations TL-IRSL sur sédiment et datations TL sur silex archéologiques chauffés. Les résultats de ces analyses sont présentés dans les figures (6, 7 et 8).

Par ailleurs, la description micromorphologique détaillée des différentes unités décrites ci-dessous, accompagnée de photos, sont accessibles dans un article monographique à paraître dans *Gallia Préhistoire* (Locht *et al.*, sous-pressé) et les données palynologiques et malacologiques sont exposées dans Limondin-Lozouet et Gauthier (2003, ce volume).

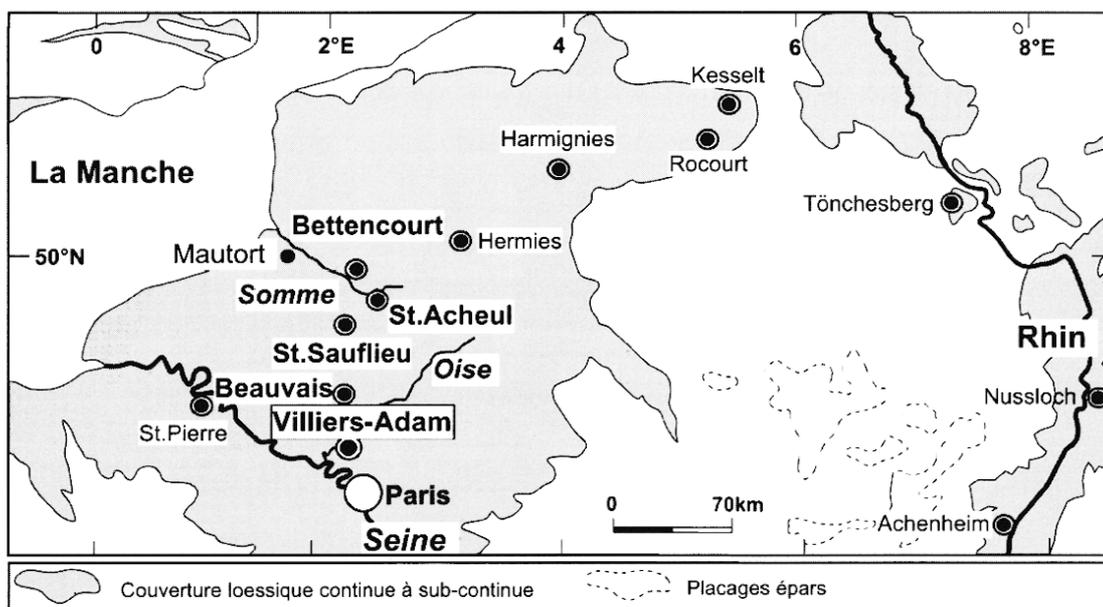


Fig. 1 : Localisation du secteur de Villiers-Adam par rapport à la cartographie simplifiée de l'extension des loess du Pléni-glaciaire supérieur weichselien dans le Nord de la France (d'après Antoine *et al.*, 1999, modifié).

Fig. 1 : Location of Villiers Adam within the simplified mapping of the extension of the Upper Pleistocene loess in Northern France (according to Antoine *et al.*, 1999, modified).

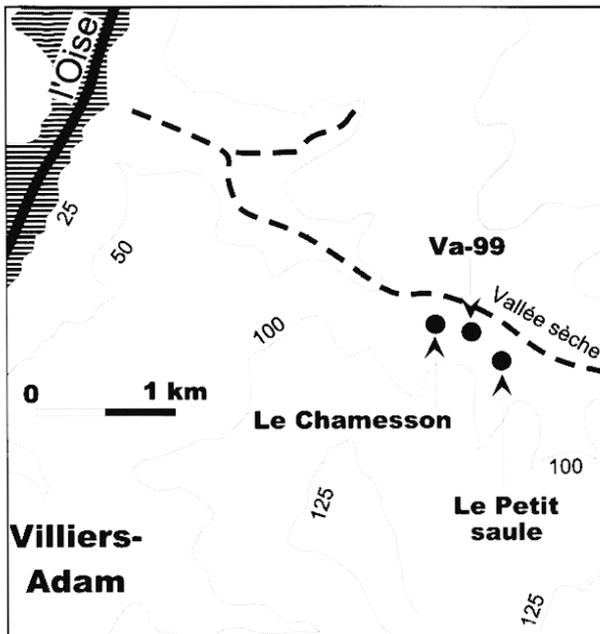


Fig. 2 : Localisation et contextes morphologiques des profils de Villiers-Adam.

Fig. 2 : Location and morphological context of the profiles of Villiers-Adam.

Description des unités, interprétations paléopédologiques et sédimentologiques (*interprétations en italiques*)

0 - Limon brun gris à silex épars. (*Horizon Ap du sol de surface*).

1 - Limon argileux brun orangé, non calcaire, compact, avec nombreuses bioturbations, agrégats, revêtements argileux et structure prismatique diffuse. (*Horizon Bt du sol brun lessivé de surface*) (*Luvisol*).

2a - Limon calcaire (15-17 %) sableux homogène, brun jaune (10YR 6/6 6/4), à nombreux biotubules à enduit calcaire et traces de racines provenant des horizons de sol sus-jacents. (*Laess calcaire typique*). 2b - Petit horizon à langues hydromorphes grisâtre (VA-99). (*Horizon hydromorphe à langues de gélifluxion* (*gelic gleysol*)). 2c - Limon sableux calcaire brun jaune clair finement lité à niveaux de microfentes emboîtés (VA-99). (*Laess calcaire lité* (*nivéo-éolien*), à microfentes de cryo-dessiccation). 2d - Limon calcaire homogène, brun jaune clair (VA-99), limite inférieure avec traces d'érosion localement très marquées (10 YR 6 :6). (*Laess calcaire typique avec figures d'incision localisées*).

3 - Limon brun clair à brun orangé clair (7,5 YR 5/8), faiblement calcaire (CaCO_3 : 10-12 %), argileux ($<2\mu\text{m}$: 18-20 %), avec bandes et plages plus grises diffuses, porosité racinaire bien développée avec enduits calcaires (hypocoatings). (*Petit horizon (Bw) de type brun ar-*

ctique ± géliflué gelic cambisol), affecté par le gel-dégel et localement fortement érodé en VA-99 (*thermokarst*) sur anciennes fentes à coins de glace, profil P4).

4 - Limon sableux finement lité à lits de sable calcaire plus clairs, (2-5 mm) lits de nodules ferromanganeux (Fe-Mn) remaniés, traces de cryoturbations. Limite inférieure fortement érosive avec localement structures en chenaux concentrés. (*Dépôts sablo-limoneux ruisselés remaniant des éléments de sols sous-jacents, avec localement fentes de gel figures d'érosion intense à la base*).

5 - Limon loessique calcaire (CaCO_3 : 20 %), homogène, gris clair à gris jaune clair, avec nombreux tubules à enduits calcaires, grosses bioturbations ovalaires (\varnothing : 6-10 cm), taches d'oxydation et nodules Fe-Mn épars. (*Gley de toundra légèrement humifère* (COT : 0,38 %), avec structure de gel-dégel très marquée (*permafrost*)). (*gelic gleysol*)).

6 - Limon sableux à sablo-argileux ($<2\mu\text{m}$: 23-25 %), brun grisâtre (10 YR 5/6 5/8) (faiblement humifère) calcaire, à structure granulaire, nombreux biotubules à revêtements calcaires, petits nodules Fe-Mn abondants. (*Horizon faiblement humifère de type "Sol de type prairie arctique" ($\pm 0,3\%$ COT) affecté par un gel-dégel intense*).

7 - Limon sablo-argileux ($<2\mu\text{m}$: 23 %) brun grisâtre humifère (COT : 0,35-0,4 %), nombreux biosphéroïdes de calcite ($\varnothing \pm 500\mu\text{m}$), limite inférieure diffuse sur 10 cm. (*Horizon supérieur du sol 8 de type brun arctique* (*gelic cambisol*) affecté par un gel-dégel très net).

8 - Limon sablo-argileux ($<2\mu\text{m}$: 18-20 %), non calcaire (excepté le CaCO_3 secondaire), brun à brun orangé sombre (10YR 4/6), plus compact que les niveaux sous et sus-jacents, avec structure granulaire à finement feuilletée (polyédrique fine), nombreux tubules à revêtements calcaires, biopores très abondants, traces d'activité de vers, et nombreux petits nodules Fe-Mn épars, nombreuses "taches" noires irrégulières (manganèse) dans la partie inférieure, limite inférieure très nette (décarbonatation). (*Horizon Bw de type brun arctique à brun boréal développé sur limon sableux préalablement décarbonaté*) (*gelic cambisol*)).

9 - Sable moyen calcaire (8-10 %), jaune clair passant vers le haut à un sable limoneux calcaire homogène à pseudomycélium et enduits calcaires abondants (recarbonatation). Nombreuses bioturbations (1-2 cm) à remplissage sablo-argileux dans la partie supérieure. Contact de base avec grandes figures d'érosion concentrées (*Sédiment éolien avec à la base, grandes figures d'érosion d'origine thermokarstique développées à partir de grandes fentes à coins de glace*).

TN-1 - Ensemble de sables et limons lités (litages irréguliers centimétriques à pluricentimétriques), avec nombreuses petites failles syndérmiques, blocs limoneux, lits de nodules Fe-Mn. (*Colluvions limono-sableuses mises en place par ruissellement avec processus nivéo-éoliens et gélifluxion dans un contexte de type périglaciaire* (*failles, blocs gelés*), très forte érosion à la base).

TN-2 - Limon sableux brun sombre humifère, à structure lamellaire fine et nombreux pédotubules à enduits calcaires, contact supérieur fortement bioturbé. (*Petit horizon humifère de type steppique sur limon loessique sableux d'origine éolienne*).

TN-3 - Limon brun gris moins humifère que TN-2, homogène, sablo-argileux avec très nombreuses bioturbations à remplissage humifère (10). (*Limon loessique d'origine éolienne remaniant des éléments locaux*) (*nodules de sol*).

NW

SE

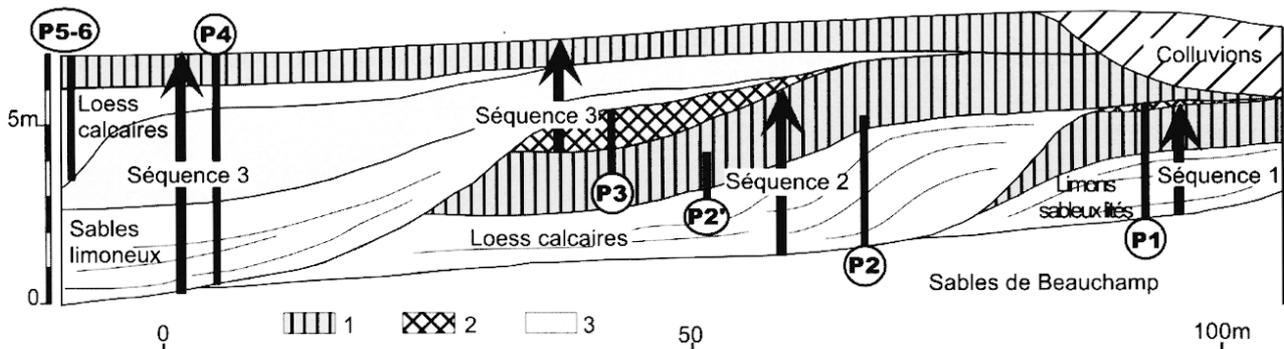


Fig. 3 : Morpho-stratigraphie générale simplifiée du secteur du Chamesson montrant les relations entre les différentes séquences pédosédimentaires.

1 - Horizons pédologiques de type Bt de sol brun lessivé, 2 - Horizons ou complexes d'horizons de sols humifères, 3 - Complexe pédosédimentaire à sols bruns interstadiers (arctique / boréal).

Fig. 3 : Simplified morphostratigraphy of the Chamesson showing the relations between the various pedosedimentary sequences.

1 - Interglacial Bt pedological horizon, 2 - Humic soil horizon or complex of humic soil horizons, 3 - Interstadial pedosedimentary complex (boreal to arctic brown soils).

Villiers-Adam Le Chamesson : profil synthétique P1-P6

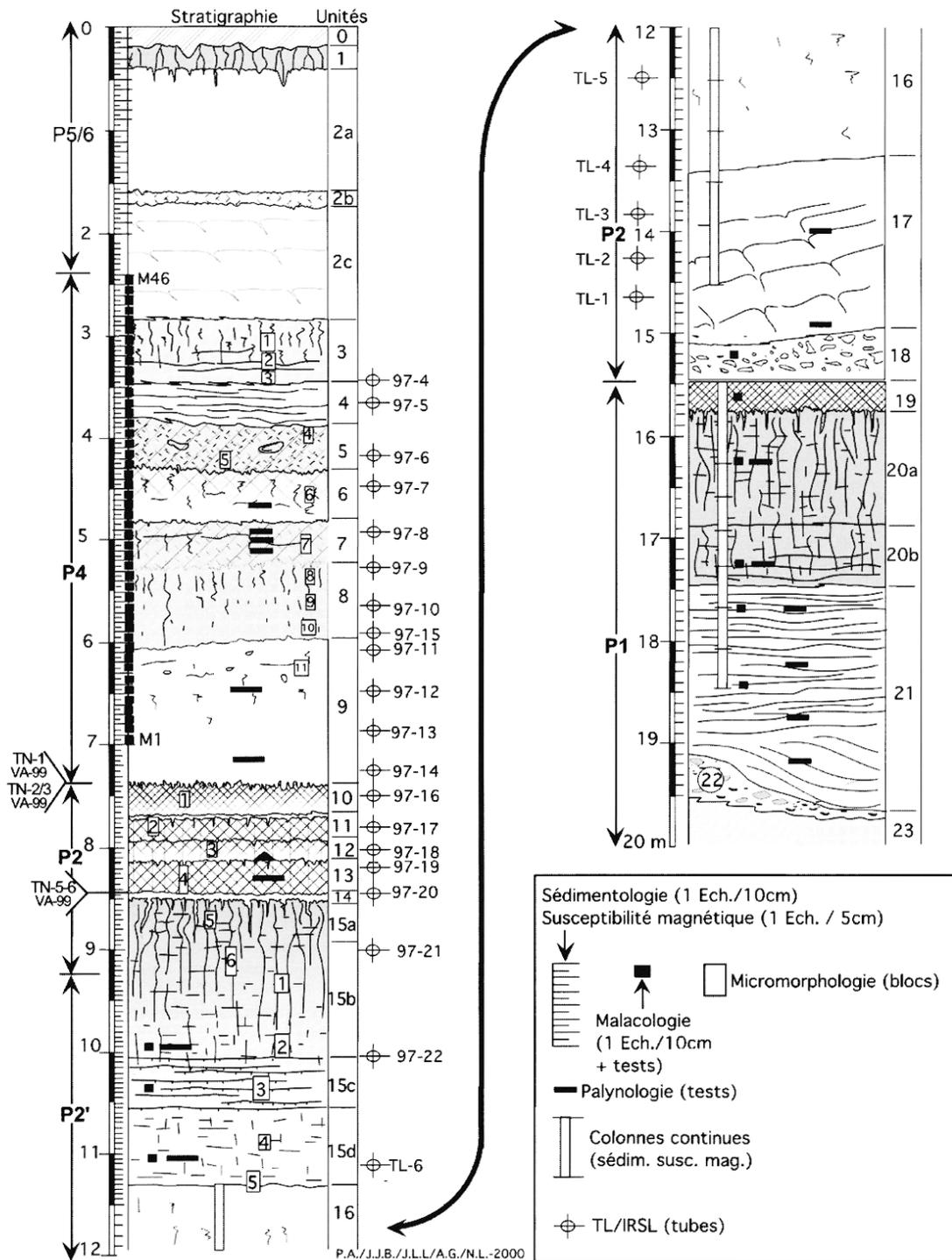


Fig. 4 : Villiers-Adam le Chamesson : séquence synthétique et localisation des échantillons, position des unités TN1 à TN6 du profil VA-99 (fig. 5 et 6) (description des unités dans le texte).

Fig. 4 : Villiers-Adam "the Chamesson" : summarized sequence and location of the samples, location of units TN-1 to TN-6 from profile VA-99 (fig. 5 and 6) (description of units in text).

10 - Limon non calcaire brun sombre, humifère (0,3 %), homogène à porosité fine abondante et nombreux tubules à enduits calcaires. (Horizon Ah de type sol isohumique de type steppique) (pas d'illuviation).

11 - Limon argileux non calcaire brun gris, à structure polyédrique à lamellaire moyenne (ép. 2-5 mm), avec fins squeletanes dans la partie inférieure, et nodules Fe-Mn épars. Partie supérieure en partie remaniée par frost-creep et affectée par une hydromorphie peu marquée. Limite inférieure irrégulière (bioturbation) avec quelques cailloux épars. (Colluvions limono-argileuses en partie remaniées par frost-creep avec faible développement pédologique très peu marqué de type sol gris-forestier (phase finale du complexe SGF 11/12/13) du Chamesson). Cependant le matériel sédimentaire plus homogène qu'en 12 indique probablement un début d'apport éolien.

12 - Limon argileux non calcaire gris brun clair à tâches grises et traces d'oxydation éparses, structure polyédrique à lamellaire moyenne nombreux nodules Fe-Mn, nodules remaniés provenant de l'horizon sous-jacent 13 ; coloration plus claire que les niveaux 11 et 13. Limite inférieure bioturbée avec glosses et silex épars. (Horizon BTh de gris forestier (Greyzem) gélifié, faiblement développé sur colluvions limono-argileuses remaniant 13, avec phase d'hydromorphie et de gel profond et phase finale d'illuviation silteuse très marquée) (bioporosité colmatée) (partie supérieure du sol 13 dégradée par les phénomènes de gel-dégel).

13 - Limon argileux (<2 µm : 27-28 %) non calcaire brun noir (10 YR 4/3 3/3), à très forte structure prismatique centimétrique puis polyédrique en profondeur soulignée par des épais enduits de silts blancs (squeletanes). Biopores abondants avec illuviations brun noir argilo-

humique épaisses (± 1 mm), et enduits de silt blanc. Présence de logettes d'hibernation de vers (1 -1,5 cm) avec pellets argileux ovoïdes (1-3 mm) et colmatage silteux. Limite inférieure très irrégulière (glosses grisâtres) et nombreuses (traces de racines à remplissage brun noir). (*Horizon Bth tronqué de sol humifère de type gris-forestier (Greyzem), fortement structuré, développé sur colluvions sablo-argileuses liées, avec très forte structure de gel profond, hydromorphie et colmatage terminal de la porosité par des silts de lavage (fonte de la couverture nivale).*)

TN-4 - Limon argileux compact brun grisâtre (10YR 4/4), à taches grises (silts lavés) et sombres (bioturbations à remplissage humifère), avec très forte imprégnation de la bio-porosité par du silt blanc lavé, nombreuses logettes colmatées, illuviations argilo-humiques brun noires sur la porosité, porosité racinaire plus faible qu'en 13, structure polyédrique à lamellaire grossière (1-1,5 cm). Le contact avec 13, extrêmement irrégulier est jalonné par des nombreuses traces de racines à remplissage plus humifère. Des pièces lithiques non patinées que l'on peut rapprocher de celles du Petit-Saule ont été découvertes à la base de cette unité près du contact avec TN-5. (*Colluvions limono-sableuses alimentées par le remaniement des sols sous-jacents (nodules argileux), avec très importante bioturbation et traces d'illuviation argilo-humiques en provenance du Bth 13, phase de gel saisonnier et imprégnation silteuse finale (horizon profond du sol 13).*)

PSF - Limon argileux non calcaire à structure polyédrique à granulaire, (contenant le niveau paléolithique principal du Petit-Saule), à nombreuses taches grisâtres (racines et bioturbations en provenance de 13), nodules de sol remaniés, nombreux nodules Fe-Mn et localement de nombreux charbons de bois épars (1-5 mm). (*Colluvions limono-sableuses alimentées par le remaniement des sols sous-jacents avec très importante bioturbation (racines à remplissage + humique 13), traces de pédogenèse de type sol gris-forestier en liaison avec le développement ultérieur du sol 13, et phase de gel saisonnier avec imprégnation silteuse finale.*)

Cette unité PSF, clairement antérieure au développement du sol 13 et postérieure au complexe 15, est, compte tenu de la position des pièces lithiques découvertes en VA-99, logiquement postérieure à l'unité TNS. Il est donc proposé de la mettre en parallèle avec la base de l'unité TN-4 qui possède par ailleurs des caractéristiques sédimentaires et pédologiques très proches.

TN-5 - Limon argileux ($< 2 \mu\text{m}$: 18 %) brun (10YR 4/4), non calcaire, très compact, avec nombreuses tâches de déferrification, nodules Fe-Mn abondants, illuviations d'argile brun sombre à brun rouge, et nombreuses logettes d'hibernation de vers (\emptyset 1-2 cm). Cette unité est séparée de l'horizon sus-jacent par un niveau de glosses grisâtres irrégulières de 20 à 60 cm. (*Horizon Bt à Bth faiblement humifère sur colluvions argileuses, avec gel saisonnier profond très marqué et importante hydromorphie terminale (Greyzem/ Luvisol).*)

TN-6 - Limon brun gris compact à très nombreux nodules Fe-Mn et plages oxydées oranges avec niveau diffus de charbons de bois dans la partie médiane, logettes et bioturbations plus rares qu'en TN-4 (cf. unité CH-1). (*Horizon inférieur Bth profond du sol de l'unité TN-4 développé sur colluvions limoneuses.*)

14 - Petit horizon limoneux grisâtre visible au contact entre 13 et 15a remplissant les nombreuses glosses qui jalonnent le contact supérieur du Bt 15a ; présence de quelques cailloux épars. Dans la coupe VA-99 cette unité s'épaissit (15-20 cm) et se caractérise par l'abondance des glosses et la présence d'auroles orangées d'oxydation sur les traces de racines (anneaux de Liesegang) (*Horizon de dégradation glossique et érosion.*)

15a - Limon argileux compact ($< 2 \mu\text{m}$: 25-30 %), brun orangé (traces d'oxydation) à structure plus nettement prismatique, très nombreuses bioturbations à remplissage de limon argilo-humique brun noir (13), glosses grisâtres et de nombreux nodules Fe-Mn millimétriques. (*Horizon Bt profond (B2t), tronqué de sol brun lessivé (Luvisol), polyphasé avec nombreux traits hérités d'une pédogenèse de type sol gris forestier (Bth), avec importante phase de gel profond et phase d'hydromorphie terminale. L'horizon 15a du Chamesson montre en fait la surimposition des traits pédologiques correspondant à la succession des horizons 15 à 13 individualisés en VA-99.*)

15b - Limon argileux ($< 2 \mu\text{m}$: 20-25 %) non calcaire, brun rouge (7,5 Y 4/4 -4/6 en VA-99), compact, à structure polyédrique à prismatique centimétrique ; nombreuses traces d'activité des vers (tubules et logettes) et biopores millimétriques abondants plages grisâtres hydromorphes centimétriques. Illuviation d'argile en deux phases : illuviation d'argile brune puis illuviation argilo-humique brun sombre épaisse essentiellement représentée sur les traces de galeries et biopores. Pré-

sence de revêtements de silts blancs dans les biopores. Limite inférieure graduelle sur 10 cm. (*Horizon Bt profond (B2t) de sol brun lessivé (Luvisol), polyphasé avec illuviations argilo-humiques liées au développement de 15a, importante phase de gel saisonnier et phase d'hydromorphie terminale.*)

15c - Limon faiblement argileux ($< 2 \mu\text{m}$: 15-18 %), non calcaire, brun à bandes grisâtres millimétriques irrégulières (faciès Limon à doublets). L'ensemble possède une structure lamellaire millimétrique très marquée (ép. 2 à 5 mm) et contient de très nombreux petits nodules Fe-Mn (Horizon à doublets du sol 15a/b).

15d - Limon non calcaire ($< 2 \mu\text{m}$: 15-16 %), moins compact que les niveaux sus-jacents avec porosité fine moins abondante, illuviation brune sur les biopores (= 1 mm), bandes plus argileuses diffuses très nombreux petits nodules Fe-Mn. Limite inférieure abrupte (décarbonatation). Ce niveau est traversé par de fines fentes (0,5 à 2 cm ép.) colmatées par des enduits d'argile humique brun noir et de silts blancs en relation avec les illuviations et les phases de gel observées dans le sol gris forestier de l'unité 13. (*Horizon Bt profond (B3t) du sol 15a/b.*)

16 - Limon calcaire (11-14 %), homogène brun jaune clair à rares lits sableux, fins nodules Fe-Mn épars, biopores et biogalleries avec carbonates secondaires. Limite inférieure graduelle sur 20 cm. (*Læss calcaire typique.*)

17 - Limon calcaire (11-14 %), brun jaune clair, finement lité à lits sableux et lits brunâtres millimétriques, avec nombreuses microfentes emboîtées. Limite inférieure abrupte et érosive (contact avec le cailloutis 18). (*Læss calcaire lité (nivéo-éolien), à microfentes de cryodessiccation.*)

18 - Ensemble grossièrement lité à niveaux de cailloutis et lits sableux, limite inférieure abrupte (érosion). (*Bilan des phases d'érosion précédant le dépôt du læss 17.*)

19 - Limon sableux (100-200 μm : 40-45 %), gris brunâtre faiblement humifère, à structure granulaire et nodules Fe-Mn épars. (*Horizon faiblement humifère remanié et hydromorphie.*)

20a - Limon sablo-argileux ($< 2 \mu\text{m}$: 24-25 %), brun à brun orangé, non calcaire, compact, à structure lamellaire de plus en plus nette vers la base et taches d'hydromorphie grisâtres éparses ; nodules Fe-Mn assez abondants. (*Horizon Bt de sol brun lessivé (Luvisol), tronqué avec dégradation hydromorphe et gel saisonnier profond.*)

20b - Limon sablo-argileux ($< 2 \mu\text{m}$: 24-25 %), brun orangé, non calcaire, compact à structure polyédrique diffuse avec quelques litages grossiers apparents. (*Horizon B en bandes du sol brun lessivé 20a.*)

21 - Sables jaunes à gris-jaunes lités à litages épais et réguliers (2-5 cm), avec illuviations argileuses brunes dans la partie supérieure. (*Sables tertiaires remaniés par ruissellement sur le versant.*)

22 - Cailloutis hétérométrique constitué par une accumulation de blocs de meulière emballés dans une matrice sablo-argileuse brun-rouge. Bilan des différentes phases d'érosion du quaternaire anté-saalien. (*solifluxion, ruissellement.*)

23 - Sables homogènes non calcaires gris clairs. (*Sables de Beau-champ) (Tertiaire).*

Lithostratigraphie et morphostratigraphie générale

L'analyse stratigraphique des différents profils de Villiers-Adam a permis de mettre en évidence une séquence complexe dont l'épaisseur cumulée atteint environ 19 m. Au sein de cette formation, l'analyse de la stratigraphie et de la géométrie des différentes unités permet de définir une succession de trois grandes séquences climato-sédimentaires partiellement emboîtées sur le versant (fig. 3) :

Séquence 1 - La séquence 1 est uniquement visible à la base des coupes du Chamesson, où elle est préservée à la faveur d'une dépression dans les sables tertiaires. Elle débute par la mise en place de sables limoneux lités (21) et se termine par la formation d'un sol brun lessivé complexe de rang interglaciaire (unités 20a et 20b).

Séquence 2 - La séquence 2, dont l'épaisseur maximale atteint environ 7,5 m dans la partie ouest du Chamesson, débute par un petit sol humifère grisâtre (19), suivi par une phase d'érosion intense qui se marque par la

création d'un vallon sub-parallèle à la pente du versant. Cette structure, de 3 à 4 m de profondeur par rapport au sommet de la séquence précédente, est jalonnée par un cailloutis (18), puis comblée par des loess calcaires lités (17) et des loess homogènes (16) au sommet desquels se développe un sol brun lessivé complexe (unités 15d à 15a).

Séquence 3 - C'est la plus complexe de la formation de Villiers-Adam. Elle débute par une érosion du sommet de l'horizon Bt interglaciaire (15) et comprend successivement :

- un complexe de sols humifères (10 à 13 ; TN-6 à TN-2 ; PSF) ;
- des limons sableux lités puis homogènes (TN-1 et 9) ;
- un complexe de sols bruns et gley de toundra (8 à 3) ;
- des loess calcaires lités et des loess calcaires homogènes (2) ;
- un sol brun lessivé plus ou moins tronqué (1) et des colluvions récentes (0).

La conservation dans le secteur de Villiers-Adam de cette épaisse formation pléistocène, dans un contexte où la sédimentation loessique typique est peu développée, est vraisemblablement à relier avec la présence d'un substratum tertiaire sableux très sensible aux processus d'érosion-sédimentation en milieu froid (périglaciaire) : accentuation des processus d'érosion par ruissellement concentré lors des phases de dégradation du permafrost (processus thermokarstiques, Murton & French, 1993 ; Van Vliet-Lanoë, 1996), avec création de pièges sédimentaires sous la forme de vallons parallèles à la pente et approvisionnement important en matériaux locaux très sensibles à la déflation éolienne.

Trois grandes séquences de type glaciaire-interglaciaire ont donc pu être mises en évidence à Villiers-Adam. Cette cyclicité, soulignée par les courbes de variations des différents paramètres sédimentologiques, comme les pourcentages d'argile, de fer et de carbone organique, permet, par corrélation avec la stratigraphie des formations loessiques de la France du NW (Antoine *et al.*, 1998, 1999, 2003), de proposer, indépendamment des données géochronologiques, les interprétations chronostratigraphiques globales suivantes :

Séquence 1 - Glaciaire Saalien (Stade Isotopique Marin 8 ?) / interglaciaire intra-saalien (SIM 7),

Séquence 2 - Glaciaire Saalien supérieur (SIM 6), Interglaciaire Eemien (SIM 5e),

Séquence 3 - Glaciaire Weichselien (SIM 5d à 2) / Interglaciaire Holocène (SIM 1).

Cette interprétation chronostratigraphique est confirmée par les données géochronologiques (TL-IRSL) obtenues à Villiers-Adam (Locht *et al.*, sous-presse).

III - SYNTHÈSE : ÉVOLUTION PÉDOSÉDIMENTAIRE, CHRONO- STRATIGRAPHIE ET PALÉOENVIRONNEMENTS

Sur les bases de l'approche morphostratigraphique et pédostratigraphique précédemment exposée, la mise en évidence de l'évolution des environnements à Villiers-Adam depuis la fin du Pléistocène moyen se fonde sur la synthèse des données sédimentologiques analytiques, des données bioclimatiques (mollusques et pollens), isotopiques ($\delta^{13}C_{org}$), et de l'analyse micromorphologique (Locht *et al.*, sous-presse ; Limondin-Lozouet et Gauthier, 2003, ce volume).

Séquence 1 - Glaciaire Saalien / Interglaciaire intra-saalien

La mise en place de la séquence 1 est précédée par une intense crise érosive qui débouche sur la formation d'une structure en vallon ayant servi de piège sédimentaire. Cette érosion des sables tertiaires (23) a totalement décapé les sols et les dépôts antérieurs dont il ne reste aucune trace à Villiers-Adam excepté sous la forme d'un cailloutis à blocs de meulière (22).

La première unité sédimentaire qui colmate cette structure est représentée par les sables limoneux régulièrement lités (21), stériles en pollens et en malacofaune et dont la mise en place fait principalement appel au ruissellement et à une alimentation locale (remaniement des sables de Beauchamp). Il s'agit d'une séquence de comblement rapide en contexte de sol extrêmement découvert (absence de bioturbation et de stabilisation du versant).

La partie supérieure de cette unité est affectée par le développement d'un sol de type brun lessivé (20a et b), nettement caractérisé par une forte augmentation du pourcentage d'argile (fig. 7), la présence d'argilanes brun-rouge et de nombreuses bio-galeries. Ce sol présente une structure polyédrique à lamellaire qui indique une phase de gel saisonnier profond ayant affecté l'ensemble du profil et marque la première manifestation du retour de conditions froides de la base de la séquence 2,

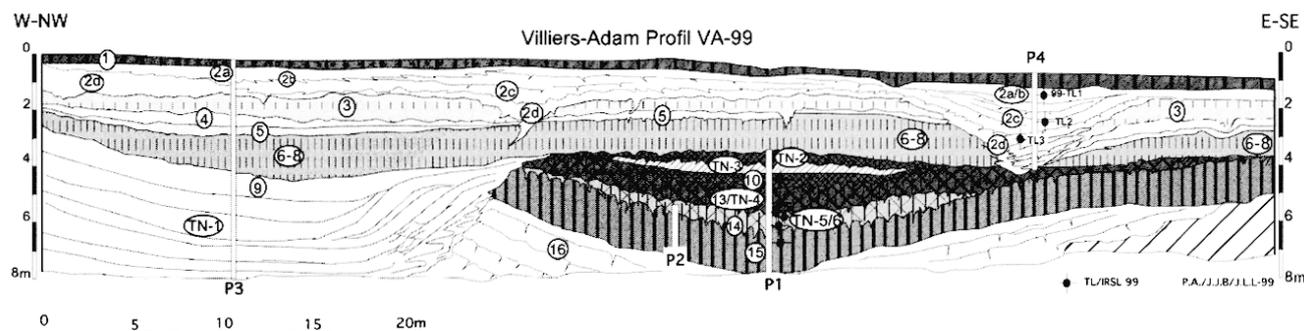


Fig. 5 : Villiers-Adam coupe 99 (VA-99) : stratigraphie générale et localisation des profils détaillés (description des unités dans le texte).
Fig. 5 : Villiers-Adam, profile 99 (VA-99) : stratigraphy and location of the detailed profiles (description of units in text).

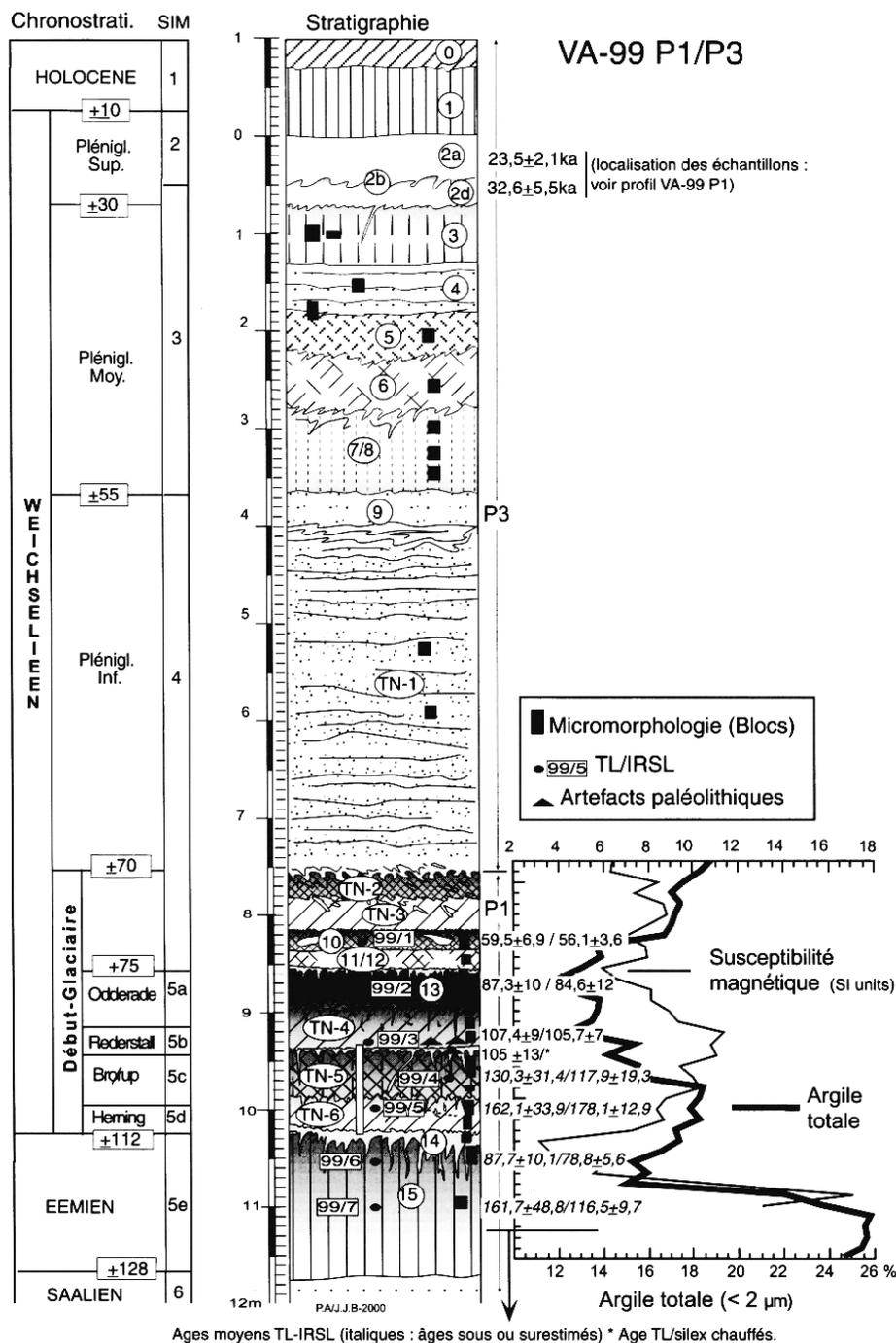


Fig. 6 : Villiers-Adam coupe 99 (VA-99) : séquence synthétique P1-P3 et données sédimentologiques et géochronologiques (P1) (description des unités dans le texte).

Fig. 6 : Villiers-Adam, profile 99 (VA-99) : summarized profile P1-P3, sedimentological and geochronological data (P1) (description of units in text).

par ailleurs soulignée par les phénomènes d'hydromorphie qui marquent aussi le sommet de cet horizon.

Le contenu en carbone organique total et les valeurs de susceptibilité magnétique dans ce sol sont plus faibles que dans les autres complexes de sols interglaciaires de Villiers-Adam en raison du caractère très drainant des matériaux de base. Enfin, les variations du pourcentage d'argile semblent traduire un sol complexe résultant de la superposition de deux horizons Bt séparés par un faible épisode sédimentaire. Cette bipartition pourrait traduire un bilan de la réponse aux deux améliorations climatiques principales du SIM 7 (Martinson *et al.*, 1987). Néanmoins, contrairement à d'autres séquences où ces

deux horizons sont nettement séparés par un dépôt loessique sableux (Balescu, 1988 ; Antoine, 1990), les deux phases de pédogenèse sont à Villiers-Adam très difficiles à distinguer, en raison de la faible épaisseur de dépôt qui les sépare.

Séquence 2 - Glaciaire Saalien supérieur / Interglaciaire Eemien

La séquence 2 débute par un petit sol grisâtre, faiblement humifère, affecté par une forte hydromorphie terminale (19). Il correspond à un faciès de sol steppique, ultérieurement dégradé et partiellement érodé lors du début d'une nouvelle période glaciaire, et peut être

rapproché des Sols de Mautort ou de Gentelles qui, dans la Somme, marquent le début du Saalien supérieur (Antoine, 1990). Ce sol est suivi par une phase d'érosion intense qui se traduit par la création d'un vallon dont la base est soulignée par un cailloutis remaniant des éléments tertiaires du plateau (18).

Dans cette structure se déposent des lœss calcaires lités à microfentes de dessiccation (17), passant vers le sommet à des lœss calcaires homogènes (16).

Cette succession traduit des conditions froides et arides, nettement soulignées par le contenu malacologique de type faune à *Pupilla* et la faible diversité spécifique des cortèges malacologiques (Limondin-Lozouet et Gauthier, 2003, ce volume).

Les âges TL-IRSL obtenus dans ces dépôts confirment pour partie leur attribution au Saalien supérieur (Stade 6) et renforcent leur corrélation avec les séquences des régions avoisinantes (Mautort, Antoine, 1990 ; Plachy-Buyon, Locht *et al.*, 1995a).

Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ confirment une aridité importante du milieu qui atteint son maximum au sommet de l'unité de lœss homogènes 16. Enfin, il est intéressant de noter que la succession de ces faciès loessiques de la fin du Saalien présentent de fortes analogies avec celle de la fin du Weichselien (Antoine *et al.*, 1999), et indiquent des conditions d'aridité maximales comparables à celles du Pléniglaciaire supérieur (30-15 ka BP).

La partie supérieure de ces lœss calcaires est ensuite affectée par le développement d'un sol brun lessivé complexe particulièrement développé (2,5 m d'épaisseur), qui traduit une nouvelle amélioration climatique de rang interglaciaire (15). Ce sol, corréléable avec le sol de Rocourt (Gullentops, 1954), se caractérise par un faciès pédologique très complexe (sol polyphasé), dont seule la phase initiale est attribuable à l'interglaciaire Eemien (5e). En effet, les traits pédologiques des horizons supérieurs (15b et surtout 15a) correspondent essentiellement à des processus pédologiques et de gel profond postérieurs, en liaison avec les phases initiales du Début-Glaciaire. Les âges TL-IRSL (Add. et Regen), obtenus dans la partie inférieure de ce sol complexe (TL : $101 \pm 8,7$ & 118 ± 23 , IRSL : 118 ± 23 et 121 ± 13 ka BP), se distinguent par une certaine sous-estimation comme c'est souvent le cas dans les pédocomplexes du dernier interglaciaire (Frechen, 1999). Il est possible que ce phénomène soit lié à l'impact des différentes phases de pédogenèse et de gel-saisonnier postérieures (variation de la dose externe en liaison avec la migration des argiles et (ou) des silts de lavage de gel-dégel).

D'une manière détaillée, cet horizon Bt se subdivise en plusieurs sous-horizons qui se caractérisent par une altération de plus en plus poussée, soulignée par une augmentation progressive des teneurs en argile de 15 à 30 % (fig. 7).

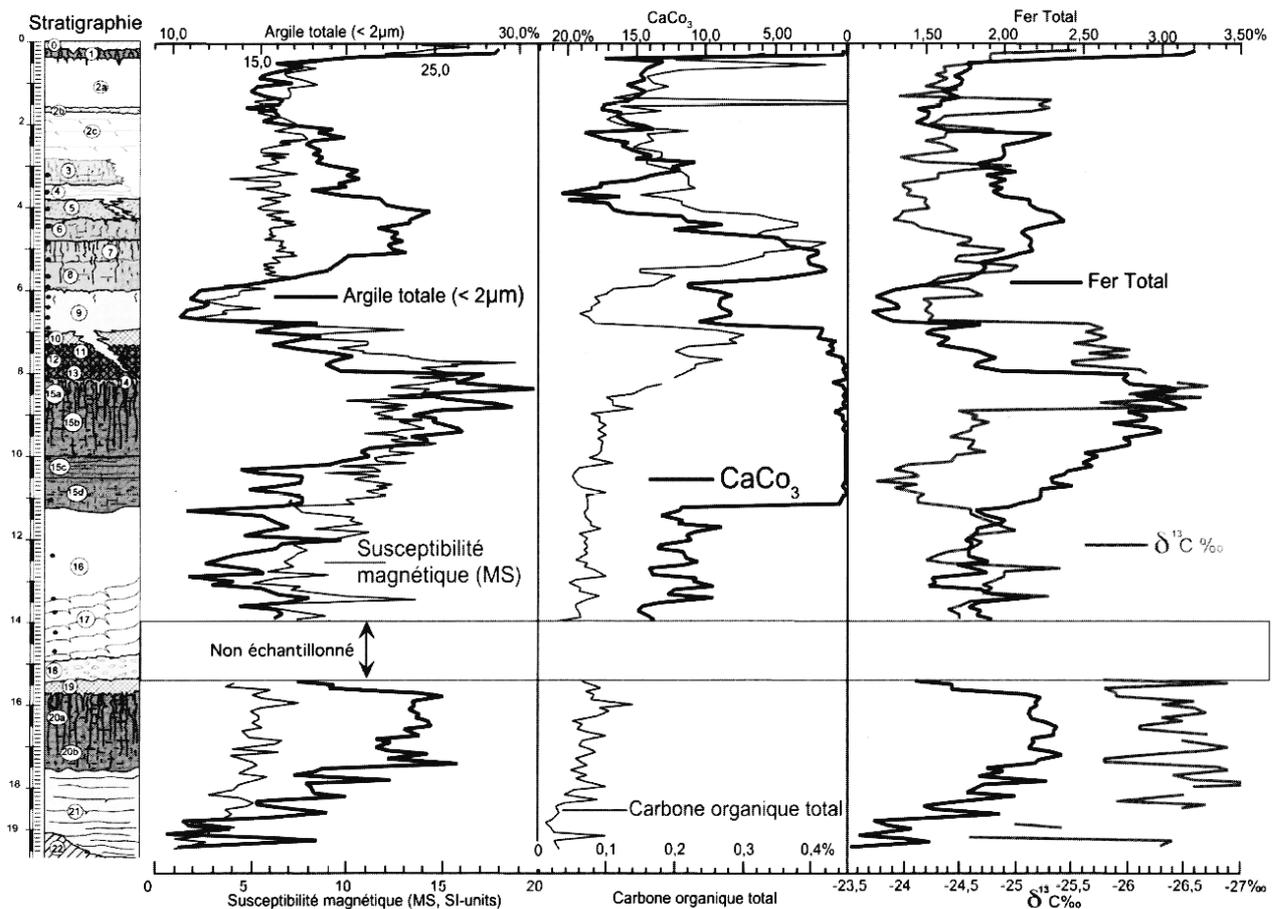


Fig. 7 : Villiers-Adam le Chamesson, séquence synthétique : évolution verticale des valeurs de susceptibilité magnétique, des pourcentages d'argile (<2 µm), de carbone organique total, de Fer total, de CaCO₃, et de $\delta^{13}\text{C}$ (description des unités dans le texte).

Fig. 7 : Villiers-Adam "the Chamesson" : summarized sequence, variations of the values of magnetic susceptibility, clay, total iron, CaCO₃, and $\delta^{13}\text{C}$ (description of units in text).

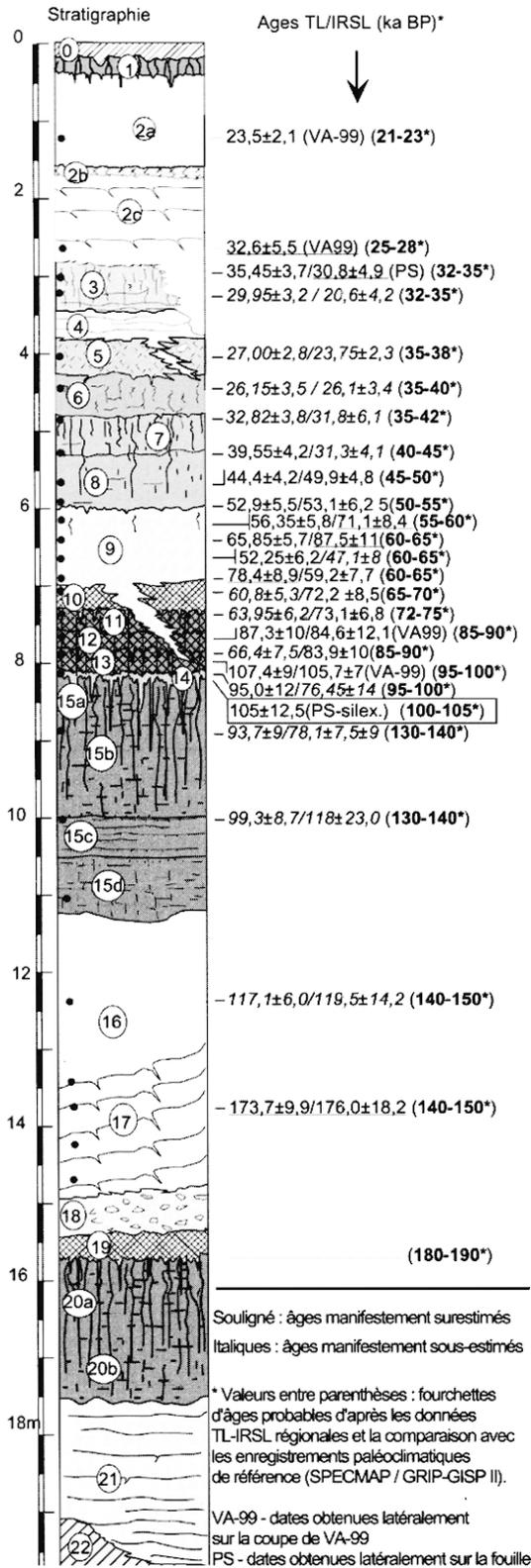


Fig. 8 : Villiers-Adam : séquence pédostratigraphique synthétique et datations TL-IRSL (âges moyens TL-Add / TL-Regen et IRSL-Add et IRSL-Regen quand les deux données sont disponibles pour le même niveau).

Fig. 8 : Villiers-Adam : summarized pedosedimentary sequence and TL-IRSL datings (average TL TL-Add / TL-Regen and IRSL-Add and IRSL-Regen ages when both values are available for each sample).

L'horizon inférieur 15d se distingue par une décarbonatation totale et une altération peu marquée (rares revêtements argileux sur les biopores), un pourcentage d'ar-

gile, de carbone organique et des valeurs de susceptibilité magnétique toujours très faibles. On remarque que les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ y sont encore très hautes et correspondent toujours à celles du loess saalien non altéré. L'horizon à doublets sus-jacent (15c) montre des caractéristiques similaires et se distingue uniquement par sa structuration à lamines centimétriques brunes ondulées. Il est proche des faciès à doublets décrits par J.-P. Lauthidou (1985) à la base du Sol Elbeuf 1 en Normandie où il est interprété comme un proto Bt qui s'individualise juste après les premières phases de décarbonatation dès la fin du Pléniglaciaire (accumulation préférentielle de particules argileuses et de limon fin sur les discontinuités héritées de la structuration gel-dégel).

L'altération, matérialisée par l'augmentation des taux d'argile, et des revêtements argileux en lame mince, n'apparaît vraiment qu'à partir de la base de l'horizon Bt fortement structuré (15b).

La partie supérieure de ce dernier se distingue par contre par une forte augmentation du pourcentage d'argile, qui atteint 30 %, et de la densité des revêtements argileux visibles en lame mince, et par l'apparition d'une structure polyédrique à lamellaire centimétrique de type gel saisonnier profond (Pissart, 1987 ; Van Vliet-Lanoë, 1987 ; Huijzer, 1993). Cette tendance est couplée à une augmentation des valeurs de susceptibilité magnétique et du pourcentage de carbone organique (fig. 7). La diminution brutale du $\delta^{13}\text{C}$ à partir de la base de l'horizon 15a traduit cette fois des conditions beaucoup plus humides, dont le maximum est atteint dans la partie médiane de cet horizon, et qui caractérisent les conditions interglaciaires.

Les données micromorphologiques montrent que la partie supérieure de 15a a enregistré une succession complexe de phénomènes pédologiques et périglaciaires qui débute avec l'Interglaciaire Eemien (revêtements argileux microlités jaune clairs) et se poursuit lors des premières phases de la période glaciaire suivante du Début-Glaciaire weichselien (gel saisonnier profond/illuviations argilo-humiques épaisses, à silto-humiques stratifiées, phase finale de gel saisonnier profond et formation de revêtements de silts lavés colmatant la porosité).

Au sein de la succession des unités 15a à 15d, et plus particulièrement dans les horizons supérieurs 15a et 15b, la pédogenèse initiale, que l'on peut rapporter à l'Eemien (décarbonatation, altération et illuviations microlités jaunes), est donc fortement masquée par l'impact des processus pédologiques et périglaciaires postérieurs, développés dans un contexte déjà très différent (Van Vliet-Lanoë, 1987 ; Haesaerts *et al.*, 1999). L'horizon 15a, s'il s'individualise nettement du point de vue paléopédologique, et notamment sur la base des données micromorphologiques, ne représente cependant pas une unité pédosédimentaire distincte (pas de phase de dépôts différents des unités sous-jacentes).

Séquence 3 - Glaciaire Weichselien / Interglaciaire Holocène

a-Complexe de sols du Début-Glaciaire

La séquence 3 débute dans tous les profils par une phase d'érosion très marquée qui tronque le sommet de l'horizon Bt interglaciaire (15). Cette crise érosive traduit

une première déstabilisation du paysage et le retour de conditions rigoureuses (ouverture du paysage, développement des processus de ruissellement), et provoque localement la formation de structures en vallons peu marquées. Cependant elle ne modifie pas fondamentalement la morphologie du paysage acquise lors de la dernière phase de dépôt loessique du Saalien.

Cette première crise climatique qui marque le début du Weichselien dans toutes les séquences de l'Europe du NW (Haesaerts *et al.*, 1999 ; Schirmer, 2000 ; Antoine *et al.*, 1999, 2001) est corrélée avec le stade 5d des séquences $\delta^{18}\text{O}$ des sondages océaniques et le stade de Herning de la chronostratigraphie de l'Europe du NW (112 ± 4 ka BP) (Caspers et Freund, 2001) et Melisey I de la Grande Pile (Woillard et Mook, 1982). Cette période se traduit aussi dans les profils par une hydromorphie très nette (horizon blanchi 14 à glosses et nombreux nodules ferromanganiques), de très faibles valeurs de susceptibilité magnétique et une chute des pourcentages en argile.

Au cours de cette phase, l'érosion du sol interglaciaire produit une première génération de colluvions limono-argileuses à nodules de sol remaniés, nombreux charbons de bois et microdébris végétaux humifiés, dont la structure litée originelle est localement visible en lame mince (unité TN-6) (Locht *et al.*, sous presse). La présence de chêne et de noisetier au sein des charbons de bois récoltés parallèlement au Petit-Saule lors de la fouille dans le niveau PSF, directement sus-jacent au Bt 15a (A. Dietrich-INRAP, in Locht *et al.*, 1997), confirme l'importance de la remobilisation de la partie supérieure du sol interglaciaire dans le processus de colluvionnement lors des premières phases du Début-Glaciaire.

Dans les profils de Villiers-Adam, l'absence de pollens dans le complexe de sol du Début-Glaciaire ne permet pas par contre de mettre en évidence un remaniement de pollens thermophiles dans les premières colluvions comme c'est le cas dans les séquences de référence de Saint-Sauflieu et de Bettencourt (Munaut in Antoine *et al.*, 1994, 1998 ; Munaut in Locht *et al.*, 2002).

Au sommet de cette première génération de colluvions, un sol se développe lors d'une première phase d'amélioration climatique et de stabilisation du paysage de type interstadiaire (TN-5). Cet horizon se distingue par une très forte compacité, une coloration brun sombre, une intense bioturbation (abondantes logettes de diapause/hibernation, et bioturbations à remplissage stratifié de type striotubules), une teneur en argile intermédiaire, une teneur en carbone organique faible, des illuviations silto-argileuses humifères nettement stratifiées, et une importante phase finale de colmatage silteux (gel-saisonnier profond). Cet horizon présente en fait des caractéristiques pédologiques et micromorphologiques intermédiaires entre celles d'un Bt de sol brun lessivé et d'un Bth de type gris forestier ou Greyzem (FAO-UNESCO, 1997 ; Van Vliet-Lanoë, 1987 ; Driessen et Dudal, 1991 ; Gerasimova *et al.*, 1996 ; Shugalei, 1997).

Par ailleurs, il présente des caractéristiques et une position stratigraphique proches de celles du *Sol de Bettencourt* défini dans la Somme (Antoine in Locht *et al.*, 2002) et représente vraisemblablement la manifestation, en milieu de versant, du premier interstade forestier à

forêt boréale du Début-Glaciaire (interstade de Brørup/Saint-Germain I, corrélé avec le Stade isotopique 5c). Cette période se traduit par une stabilisation relative du paysage dans une ambiance forestière de type forêt boréale (*Betula / Pinus* dominants, Sommé *et al.*, 1994) avec toujours quelques thermophiles. Les conditions climatiques sont alors caractérisées par une nette continentalité : températures estivales légèrement inférieures à l'actuel (-2 - 3° , Lowe et Walker, 1997), saison hivernale plus longue et températures minimales nettement plus basses favorisant les processus de gel en profondeur (> -1 m), et le développement de la couverture nivale.

Par contre, dans les profils où la première phase de colluvionnement n'est pas clairement enregistrée, comme au Chamesson ou au Petit-Saule (fig. 9), les processus pédologiques et périglaciaires associés à l'oscillation d'Odderade / Saint-Germain II, se surimposent dans la partie supérieure tronquée du Bt Eemien.

Compte tenu des dates TL obtenues sur silex chauffé (moyenne : $105 \pm 12,5$ ka BP), l'occupation paléolithique de Villiers-Adam (Petit-Saule) se placerait au niveau de l'optimum climatique, qui apparaît dans la courbe isotopique du $\delta^{18}\text{O}$ de GRIP vers 100-107 Ka BP environ (fig. 10), ou dans le début de la phase de dégradation climatique progressive qui suit. La position stratigraphique des quelques artefacts découverts dans la séquence de VA-99 au sommet du sol de l'unité TN-5 et à la base de l'unité colluviale TN-4 (fig. 6 et 9) est en accord avec cette interprétation. Les âges TL sur sédiment, obtenus sur l'unité PSF au niveau de la fouille, sont donc apparemment assez fortement sous-estimés (moyenne $\pm 70,4$ ka BP). Néanmoins il faut souligner que le niveau PSF a subi un très fort impact du gel-dégel aux environs de 70 ka, responsable d'une intense accumulation silteuse dans le profil. Ces silts fins, en partie issus de particules lavées en surface par la fonte de la couverture nivale (soumis au rayonnement solaire), et qui ont percolé dans l'ensemble de l'unité PSF sont vraisemblablement à l'origine de ce rajeunissement, comme cela a été signalé à Bettencourt-Saint-Ouen (Antoine, 2002).

La partie supérieure de ce sol (unité TN-5) est ensuite affectée par une nouvelle dégradation climatique qui se marque dans les coupes par un épisode de gel saisonnier profond avec développement d'une structure polyédrique, une fragmentation des revêtements argileux et une hydromorphie très marquée, probablement exacerbée par les conditions topographiques locales en dépression (horizon à tâches et langues grises déferrifiées, abondantes concrétions ferromanganiques).

Cette dégradation climatique, que l'on peut rapporter à l'oscillation froide de Rederstall ou Melisey II vers 85 ka BP, se poursuit par la mise en place d'une nouvelle génération de colluvions limono-argileuses très compactes à nodules de sol et concrétions ferromanganiques remaniées, microcharbons, débris humifiés épars et bioturbation importante (pédotubules et chambres de diapause de vers de terre) (unité TN-4).

Au cours de cette phase, où les processus de ruissellement redeviennent très actifs, le secteur occupé préalablement par les paléolithiques, situé sur une pente assez sensible, est soumis à une érosion intense qui entraîne le

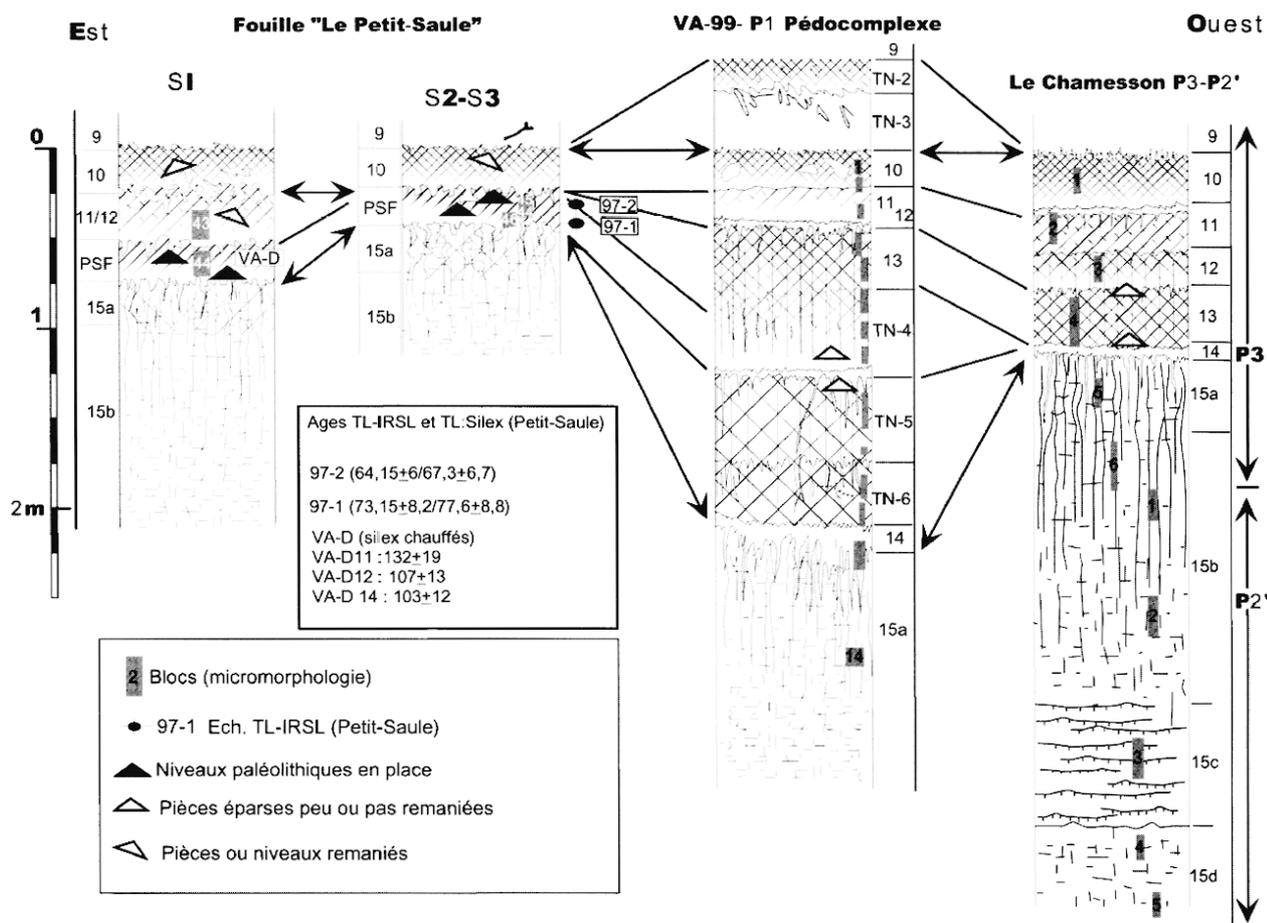


Fig. 9 : Corrélation entre les différentes unités des complexes de sols (Eemien / Début-Glaciaire) des coupes du Chamesson, de VA-99 et du Petit-Saule (fouille) (description des unités dans le texte).

Fig. 9 : Correlation between the various units within the soil complexes (Eemian / Early-Glacial) from the Chamesson, VA-99 and Petit-Saule profiles (description of units in text).

déplacement des esquilles et des petites pièces. Parallèlement, une partie des artefacts non recouverts par des sédiments acquièrent une patine assez marquée et subissent l'action des périodes de gel particulièrement intense (artefacts gelifractés). L'accumulation d'une couche de colluvions limono-argileuses issues du remaniement des sols précédents débouche sur la formation de l'unité PSF contenant de nombreuses pièces paléolithiques.

La partie supérieure des unités PSF / TN-4 montre ensuite un passage assez progressif avec l'unité 13, matérialisé par de très nombreuses traces de racines irrégulières à remplissage brun sombre en provenance du sol sus-jacent qui signent une deuxième phase de stabilisation du paysage (bioturbation intense par les racines et les terriers).

Ce sol 13 est représenté par un horizon Bth typique des sols gris forestiers de la France du NW (Antoine *et al.*, 1994, 1999), et possède les caractéristiques typiques du Sol SS-1 du Complexe de sols de Saint-Saufieu, dont le développement est attribué à l'interstade d'Odderade / Saint-Germain II (SIM 5a) (Antoine *et al.*, 2003), et se situe dans un contexte de forêt boréale dominée par *Pinus* dans la coupe de référence de Saint-Saufieu (Munaut *in* Antoine *et al.*, 1994).

Dans la coupe du Chamesson, il se subdivise en trois horizons distincts sur le terrain (13 à 11, fig. 4). L'analyse micromorphologique confirme cette observation et montre que l'horizon 12 correspond à la partie supérieure

de 13, toujours en place, mais fortement affectée par les processus de gel saisonnier profond (squelettanes abondants donnant une coloration plus claire sur le terrain) alors que l'horizon 11 représente un faciès déjà remobilisé par gélifluxion. Néanmoins la succession des unités 13 à 11 ne traduit pas de changements majeurs de l'environnement et l'on peut considérer qu'elle s'inscrit dans la même oscillation climatique (variation de l'intensité relative des processus de gel-dégel, dans un contexte de fin d'interstade).

Les âges TL-IRSL obtenus dans cet horizon (73,1±6,8 en 11 et 83,9±10 au sommet de 13) confirment l'attribution de ce sol gris-forestier complexe à l'interstade d'Odderade/Saint-Germain II et sont en accord avec ceux obtenus dans le même niveau à Saint-Saufieu (Engelmann et Frechen, 1998) et à Bettencourt-St.-Ouen (Engelmann *et al.*, 1999). Au niveau du site paléolithique, où le bilan pédosédimentaire est plus pauvre, on observe le développement de cette phase de pédogenèse dans l'unité PSF et le sommet du Bt 15a (illuviations / bioturbations à remplissage humifère).

D'une manière générale, il faut néanmoins nuancer l'interprétation de la base du Complexe de sols Début-Glaciaire de Villiers-Adam (unités TN-6 à 11) en termes de succession de phases de stabilité et de pédogenèse séparées par des phases d'érosion et de colluvionnement. En effet, comme cela a déjà été observé notamment à

Bettencourt (Antoine *et al.*, 2003), ces sols gris-forestiers du Début-Glaciaire correspondent à des sols construits ou sols cumuliques (Almond et Tonkin, 1999), dont le développement pédologique est contemporain d'un apport sédimentaire (ruissellement diffus), progressivement incorporé au fond matriciel par la bioturbation et retouché par les processus d'illuviation argilo-humiques. La succession sol-colluvions visible sur le terrain traduit plus vraisemblablement une modification du bilan pédogénèse / dépôt colluvial qui évolue au cours du temps entre un maximum de colluvionnement lors des stades froids et un maximum de pédogénèse lors des interstades.

La limite supérieure de cette première partie du complexe de sols du Début-Glaciaire (contact 10/11, Début-Glaciaire A, Antoine *et al.*, 1994) se marque dans tous les profils par un épisode majeur de gel saisonnier profond et par une phase d'érosion localement soulignée par un petit cailloutis.

Au cours de cette dégradation climatique majeure, le secteur du site paléolithique est à nouveau soumis à une érosion généralisée qui décape entièrement le sol gris-forestier ainsi que la partie supérieure de l'unité PSF. Parallèlement, les processus de gel-dégel particulièrement intenses entraînent une nouvelle phase de déstabilisation de l'unité PSF contenant les artéfacts (gel-dégel, début de cryoreptation), et une très intense fragmentation des traits pédologiques hérités des phases antérieures.

Cet épisode se traduit par la formation d'une forte structure polyédrique centimétrique à enduits silteux blancs (squeletanes), développée sur une épaisseur de 1 à 1,5 m, qui recoupe tous les traits pédologiques antérieurs. Le drainage vertical de ces silts lavés, lors de phases de dégel et de fonte de la couverture nivale, provoque un important colmatage de la porosité et notamment des logettes de diapause à remplissage stratifié. Cette phase de déstabilisation majeure avec accentuation des processus de gel-dégel est décrite dans la plupart des profils de l'Europe du NW (Haesaerts, 1985 ; Haesaerts *et al.*, 1999 ; Antoine *et al.*, 1998, 1999, 2001), où elle est responsable de la formation des "horizons blanchis" géliflués, comme ceux de Rocourt et de Rémicourt en Belgique (Haesaerts *et al.*, 1999). Elle est rapportée à la crise climatique de la fin du stade 5a vers 75-73 ka BP (\pm limite SIM 5/4) et marque la limite avec la deuxième phase du Début-Glaciaire, nettement plus aride (phase à sols steppiques).

La partie supérieure du complexe de sols du Début-Glaciaire de Villiers-Adam (unités 10 fig. 4, et TN-2 et TN-3, fig. 6) est relativement peu développée par comparaison aux coupes de références du bassin de la Somme. Néanmoins elle montre aussi une nette évolution de la sédimentation vers un contexte où les apports éoliens locaux sont de plus en plus nets.

Le premier horizon rapportable à cette deuxième phase du Début-Glaciaire est représenté par le niveau 10 visible dans tous les profils. Il se distingue nettement des sols précédents par l'absence totale de processus d'illuviation des argiles, une texture nettement plus homogène "loessique", incorporant de fines papules des sols précédents, d'abondants micro-agrégats organiques intégrés à la masse, et l'importance des carbonates secondaires :

pseudomorphoses (cellules racinaires calcitées), et manchons racinaires calcifiées (hypo-coatings), qui traduisent une aridité relative du milieu (Becze-Deak *et al.*, 1997). Ces caractéristiques traduisent des conditions climatiques plus froides et surtout plus arides contemporaines de la fin du Début-Glaciaire weichselien (Début-Glaciaire B, Antoine *et al.*, 1994, 1999) ; une corrélation avec le sol SS-2 de Saint-Sauflieu est probable. Dans la coupe VA-99, cette partie du complexe de sols est un peu plus dilatée et incorpore un deuxième horizon humifère qui présente sur le terrain et en lames minces le même faciès de sol steppique (fig. 6, unité TN-2). Cet horizon est, comme à Saint-Sauflieu (sol SS3b), séparé du précédent par un niveau peu épais de sédiment éolien à forte composante locale (fig. 6, unité TN-3).

D'après la signature climatique de ces sols steppiques et leur position dans la séquence, il a été proposé (Antoine *et al.*, 1998, 1999), de les mettre en parallèle avec les oscillations rapides situées vers 68 et 72 ka dans les séquences de glace GRIP et GISP II (Interstades 19 et 20, Dansgaard *et al.*, 1993 ; Grootes *et al.*, 1993). Ces oscillations rapides (durée \approx 1ka), également décrites dans les carottes marines de l'Atlantique Nord (Cortijo *et al.*, 1995), traduisent une très grande instabilité climatique qui s'exprime clairement en domaine continental où la dynamique éolienne commence à se développer (Rousseau *et al.*, 1998 ; Antoine *et al.*, 1999, 2001). Bien que les marges d'erreur qui affectent les âges obtenus dans l'unité 10 (TL : $63,0 \pm 5,3$ et $60,8 \pm 5,3$ ka BP) et (IRSL-Reg. : $72,2 \pm 8,5$ ka BP, fig. 8) soient relativement importantes, la valeur centrale de l'âge IRSL est en accord avec ces interprétations, comme à Bettencourt Saint-Ouen (Engelmann *et al.*, 1999) et à Saint-Sauflieu (Frechen et Engelmann, 1998 ; Engelmann *et al.*, 1999).

D'une manière générale, l'interprétation chronostratigraphique proposée précédemment pour les occupations humaines de Villiers-Adam repose sur l'ensemble des données actuellement disponibles pour le site et la comparaison avec celles du Bassin de la Somme et du Nord de la France.

b- Dépôts et sols du Pléniglaciaire weichselien - Pléniglaciaire inférieur

La première péjoration climatique majeure postérieure au Début-Glaciaire weichselien se traduit par une érosion extrêmement marquée qui débouche localement sur la formation de vallons de 10 à 20 mètres de large pour 4 à 6 m de profondeur. Ces structures parallèles à la ligne de plus grande pente sont particulièrement bien développées à Villiers-Adam dans le profil VA 99 (fig. 5, base de TN-1). Cet épisode érosif qui représente la première signature du Pléniglaciaire inférieur est antérieur à la mise en place des limons sableux 9 (TN-1 en VA99), datés de 50 à 60 ka BP et dont l'épaisseur, localement très importante, est liée à une accumulation et à une préservation préférentielle dans les vallons qui fonctionnent alors comme des pièges sédimentaires (fig. 5).

Par ailleurs, de grandes structures d'incision remplies par le sable limoneux 9 ont été localement observées au sommet du complexe de sols humifères (fig. 7 et 8). Elles sont caractéristiques de chenaux de fonte liés à la dégradation

d'un ancien réseau de coins de glace (thermokarst) et permettent de mettre clairement en évidence l'existence d'un permafrost au début du Pléniglaciaire inférieur.

Parallèlement, l'aridité du milieu est nettement soulignée par une variation brutale des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ à la limite 10/9 (valeurs beaucoup plus négatives en 9), des valeurs très basses de susceptibilité magnétique et la présence d'abondantes structures cellulaires végétales calcifiées (Becze-Deak *et al.*, 1997). Le contenu malacologique de cette unité, relativement pauvre, apparaît dominé par *Pupilla muscorum*, associée à quelques *Trichia hispida* et limaces et indique aussi un environnement de type steppe loessique. Par contre ce niveau est stérile en pollen probablement en raison de la granulométrie grossière du dépôt (oxydation).

Dans ce contexte, la mise en place du dépôt sablo-limoneux homogène 9 est alors essentiellement alimenté par le remaniement à courte distance (déflation) du substrat sableux local. Cependant la présence de carbonates primaires et de fractions limoneuses et argileuses non négligeables indique aussi des phénomènes de déflation affectant des sources plus lointaines.

Pléniglaciaire moyen :

Dans les séquences de Villiers-Adam, le Pléniglaciaire moyen se caractérise par une certaine stabilité de l'environnement et le développement de pédogenèses peu évoluées de type sol brun boréal et sol de prairie arctique (unités 8 à 3).

La première trace d'amélioration climatique attribuable au Pléniglaciaire moyen est représentée par le déve-

loppement d'un sol de type brun boréal, particulièrement bien développé (unités 7 et 8). Cet horizon se distingue par une coloration nettement plus brune, associée à une décarbonatation du dépôt précédent 9 et à une augmentation progressive de la teneur en argile qui passe de 11 à 24 % au sommet de l'unité 7. Cette évolution est accompagnée par une nette augmentation du pourcentage de carbone organique précédé par le retour vers des valeurs moins négatives du $\delta^{13}\text{C}$. Par ailleurs les lames minces montrent un enrichissement du fond matriciel en argile et limon fins, et une augmentation du nombre des nodules ferro-manganiques. Les processus pédologiques associés au développement de cet horizon sont essentiellement représentés par une décarbonatation suivie d'une "illuviation en masse" (illuviation mécanique liée aux processus de gel-dégel, Van Vliet-Lanoë, 1987) très différente des processus classiques d'illuviation dans les sols de type lessivés. On note également l'apparition de traces de bioturbation, des biosphéroïdes de calcite attribuables à l'activité des vers de terre (Canti, 1998), et de nombreux manchons calcités en périphérie des biotubules (hypocoatings).

L'ensemble de ces données traduit une augmentation progressive de la densité du couvert végétal, une stabilisation relative, et une baisse de l'aridité du milieu permettant le développement de la faune du sol. Le contenu malacologique, bien que peu abondant (décarbonatation), est encore proche de celui de l'unité 9 et traduit en fait les conditions de dépôt du sédiment plus que celles du sol qui s'y est développé.

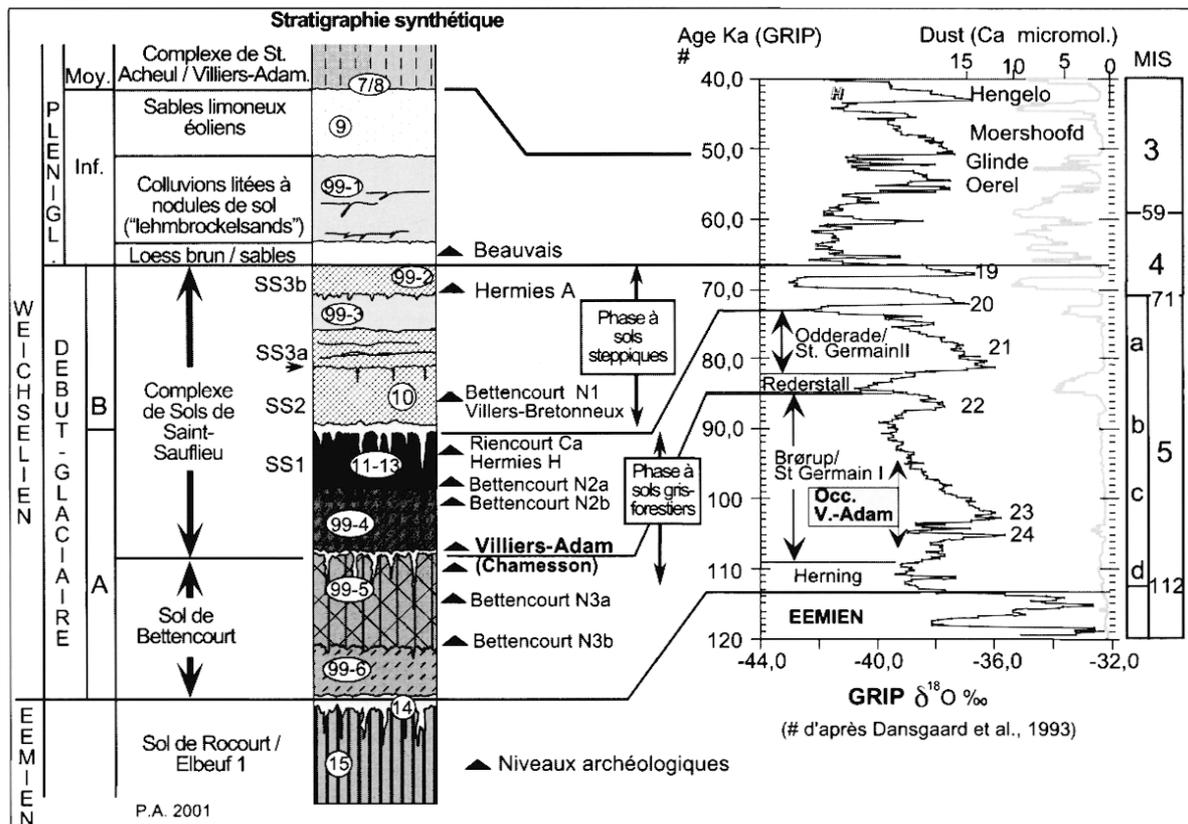


Fig. 10 : Localisation des occupations paléolithiques de Villiers-Adam et de quelques autres sites paléolithique moyen récent du nord de la France dans la séquence pédo-sédimentaire du Début-Glaciaire de la France septentrionale, corrélation avec les variations du $\delta^{18}\text{O}$ de GRIP.
Fig. 10 : Location of the Palaeolithic levels of Villiers-Adam and of some other Middle Palaeolithic sites from Northern France within the Weichselian Early-Glacial pedosedimentary sequence, correlation with the GRIP record.

Les datations TL obtenues dans cette unité ($\pm 45-50$ ka BP, fig. 8) confirment son attribution au Pléniglaciaire moyen et placent ce sol dans la partie inférieure du Stade isotopique 3 ou au niveau des Interstades 13-14 de GRIP que l'on peut paralléliser avec le complexe de Moershoofd (Van Der Hammen, 1995). Au plan régional, cet horizon peut être parallélisé avec le sol brun de Beauvais (Oise, Loch *et al.*, 1995b) et le sol de Saint-Acheul (Somme, Antoine, 1990).

La partie supérieure de ce sol se distingue ensuite par une augmentation de la densité des structures liées à l'activité biologique (biosphéroïdes, pédotubules, déjections) et l'apparition d'une structure finement feuilletée de type gel-dégel de plus en plus nette. Parallèlement, les effectifs de mollusques sont plus importants et les assemblages se distinguent par l'apparition de *Succinea oblonga*, indiquant une augmentation de l'humidité ; le contenu pollinique, mieux conservé en raison d'une texture sédimentaire plus fine, donne l'image d'un milieu toujours assez ouvert de type tundra nordique, dominé par les taxons héliophiles et xérophiles où la végétation ligneuse semble essentiellement représentée par *Juniperus* (Gauthier, *in* Loch *et al.*, sous presse ; Limondin-Lozouet et Gauthier, 2003, ce volume).

L'unité 6 se distingue ensuite par un faciès de type sol de prairie arctique, plus humifère (0,4 % de COT), une augmentation de l'abondance des biosphéroïdes de calcite et une accentuation de la structure microfeuilletée (gel-dégel). Le contenu malacologique est assez abondant et se distingue notamment par l'augmentation de *Succinea oblonga*, caractéristique des milieux humides.

Dans l'unité 5, on passe à un gley de tundra typique où l'humidité stationnelle, liée à la couche active d'un permafrost est très nette (abondance des succinées et présence de Ranunculaceae). La présence d'un permafrost développé à partir du sommet de la couche 5 est par ailleurs nettement attestée par la structure de gel-dégel typique qui affecte les unités 5 à 8 et par quelques structures de fusion avec érosion intense localisée.

L'ensemble de la séquence 8-5 correspond donc à une amélioration climatique relative suivie d'une nouvelle dégradation plus progressive qui aboutit au sommet de 5 à une érosion assez intense et à la mise en place de sables limoneux lités remaniant des éléments de sols antérieurs (unité 4).

La fin du complexe du Pléniglaciaire moyen se marque par la formation d'un deuxième horizon de type sol brun arctique (unité 3). Cet horizon peu épais, beaucoup moins développé que celui de l'unité 8, est en partie érodé lors de la crise de la base du Pléniglaciaire supérieur. Il est caractérisé par une activité biologique assez marquée (déjections, biosphéroïdes de vers) et des effectifs malacologiques nettement plus importants (≥ 200 individus), que ceux des lœss sus-jacents (≤ 100 individus) (Limondin-Lozouet et Gauthier, 2003, ce volume).

La succession pédostratigraphique du complexe interpléniglaciaire de Villiers-Adam présente une certaine analogie avec celle décrite dans la vallée du Rhin à Nussloch qui se caractérise aussi par la présence d'un complexe pédologique montrant un minimum de deux sols bruns (Cambisols) entre ± 45 et 30 ka BP (Antoine *et al.*,

2001 ; Schirmer, 2000). Par contre, dans la plupart des autres profils de la France septentrionale, le bilan pédosédimentaire correspondant à cette période est beaucoup plus réduit et uniquement représenté par un horizon de sol brun polyphasé à structure lamellaire fine et abondantes traces de carbonate secondaire (Sol de Saint-Acheul, Antoine, 1990).

Pléniglaciaire supérieur

La crise érosive du début du Pléniglaciaire supérieur, que l'on peut dater d'environ 30 ka BP par comparaison avec les données des régions avoisinantes (Antoine *et al.*, 1999, 2001), se manifeste d'une manière très intense, avec la formation d'une dernière génération de vallons parallèles à la pente du versant. La formation de ces structures, plus localisées et un peu moins profondes (2-3 m) que celles du Pléniglaciaire inférieur, est liée à la dégradation d'un réseau de grands coins de glace (processus thermokarstiques) qui, bien que dégradées, apparaissent encore nettement à la base du colmatage loessique dans l'axe des vallons. La présence d'un niveau d'ice-wedges s'ouvrant au sommet des sols du Pléniglaciaire moyen est d'ailleurs une caractéristique des lœss du NW européen (Haesaerts *et al.*, 1999 ; Antoine *et al.*, 1998, 1999).

Le secteur de Villiers-Adam se situe à la limite méridionale d'extension de la zone loessique (fig. 1), dans une zone où les lœss du Pléniglaciaire supérieur sont en moyenne très peu épais, sauf ponctuellement en position de couverture de terrasses sur la rive droite de l'Oise (Lebret et Halbout, 1991). Cependant, l'analyse des séquences de Villiers-Adam permet de reconnaître sans difficulté les traits principaux du bilan du Pléniglaciaire supérieur de la France septentrionale (Antoine *et al.*, 1999). On y observe ainsi successivement :

- un lœss calcaire typique homogène (2d) ;
- des lœss calcaires liés à microfentes de dessiccation (2c) ;
- un horizon à langues de gélifluxion grisâtres (2b) ;
- un lœss calcaire homogène (lœss de couverture) (2a).

D'une manière générale, ces faciès loessiques du Pléniglaciaire supérieur se distinguent nettement des dépôts antérieurs par leur faciès nettement carbonaté, l'importance de la fraction 20-50 μm typique des lœss, des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ moins négatives (aridité) (Hatté *et al.*, 1999), et des valeurs de susceptibilité très basses (Antoine *et al.*, 1999 ; Rousseau *et al.*, 1998). On observe aussi dès la base de ces lœss un pourcentage très faible de carbone organique et une très forte réduction des effectifs malacologiques que l'on peut interpréter comme la trace d'un paysage très peu végétalisé de type steppe froide loessique, peu propice au développement des malacofaunes.

Néanmoins, au sein de ces lœss, le niveau de gley géliflué (2b), qui sépare les deux dernières unités, se distingue par des valeurs de carbone organique plus élevées et un $\delta^{13}\text{C}$ plus négatif indiquant un contexte plus humide. Cette humidité relative (stationnelle), liée à une imperméabilisation superficielle par le permafrost, est aussi plus favorable au développement de la végétation et surtout des mollusques qui sont nettement plus nombreux dans cet horizon. Cependant aucune amélioration climatique n'est détectée à ce niveau. En raison de sa position

dans la stratigraphie, à l'interface entre les loëss calcaires lités (2c) et les loëss homogènes (2a), cet horizon pourrait correspondre à l'horizon à langues de Nagelbeek / Kesselt, qui jalonne cette limite dans la majeure partie des profils de la Belgique à la Normandie et qui est daté d'environ 22 ka BP ¹⁴C (Sommé *et al.*, 1980 ; Haesaerts *et al.*, 1981 ; Lautridou, 1985).

Enfin, il faut souligner que les caractéristiques sédimentologiques et bioclimatiques de ces loëss calcaires du Pléniglaciaire supérieur weichselien, déposés entre 30 et 15 ka BP environ, sont très proches de celles des loëss calcaires de la fin du Saalien (unités 16 et 17). Cette similitude, observée d'une manière plus générale dans toute la France septentrionale (Antoine, 1990) et dans la vallée du Rhin permet de suggérer des conditions climatiques et des zones sources identiques pour ces deux périodes froides majeures de la fin du Pléistocène.

La fin de la séquence 3 est caractérisée par le retour de conditions tempérées interglaciaires attestées par l'horizon Bt de sol brun lessivé de l'unité 1, dont le développement est attribuable au bilan du Tardiglaciaire weichselien et de l'Holocène (Van Vliet-Lanoë, 1987).

CONCLUSION

Dans une région où les loëss, et plus particulièrement ceux du Pléistocène moyen récent, étaient mal connus, l'étude pluridisciplinaire des séquences pléistocènes de Villiers-Adam constitue une nouvelle référence. En effet, ces recherches ont permis de définir et de proposer une coupe type régionale et de l'intégrer dans le système stratigraphique des régions voisines (Nord/Picardie/Normandie).

Par ailleurs ce travail débouche notamment sur les conclusions suivantes :

1 - La séquence Saalienne se caractérise par une succession de faciès loessiques et des conditions environnementales très proches de celles existant lors du dépôt des loëss du Pléniglaciaire supérieur weichselien et confirme l'importance du changement qui apparaît au niveau régional dans la dynamique de mise en place des loëss au début du stade 6 (apparition massive de loëss calcaires typiques allochtones).

2 - La mise en évidence d'un complexe de sol Début-Glaciaire particulièrement complet, comportant un sol contemporain du premier interstade du Début Glaciaire (MIS5c) corrélable avec le Sol de Bettencourt défini dans la Somme, renforce les interprétations préalablement publiées sur les modifications environnementales au cours de cette période complexe.

3 - Pour la première fois dans la France septentrionale, la découverte d'un complexe de sols comportant deux sols bruns attribuables au Pléniglaciaire moyen (55-30 ka BP env.) montre que la réponse du milieu continental au cours de cette période est beaucoup plus complexe que celle décrite précédemment dans la Somme au niveau du Sol de Saint Acheul.

Enfin, l'important travail analytique à haute résolution mené en parallèle sur les profils de Villiers-Adam fournit une base de données unique sur l'évolution des caractéristiques sédimentologiques et géochimiques des deux derniers cycles climatiques dans le Bassin parisien.

REMERCIEMENTS

L'étude des séquences pléistocènes de Villiers-Adam a été réalisée au cours de l'opération Francilienne Nord - liaison Cergy-Roissy (LCR) coordonnée par François Gentili (INRAP-Ile de France), Franck Suméra (Service départemental d'Archéologie du Val d'Oise) et Jean-Marc Gouédo (Service régional de l'archéologie d'Ile de France). Les auteurs tiennent à remercier le Conseil Général du Val d'Oise et le programme " PeH " du CNRS, qui ont participé de façon notable au financement de cette étude, le service archéologique du Val d'Oise pour son accueil et son soutien logistique et administratif, et la DDE du Val d'Oise pour l'accès au terrain et aux moyens nécessaires à sa réalisation. Ils remercient en particulier Ph. Soullier, C. Toupet, S. Rigomond, S. Pierens, M. Gaultier, V. Lemoine, J. Vasquez et L. Costa (SDAVO), D. Obert (Univ. Paris VI), M. Patou-Mathis (CNRS), J. Fabre (Univ. J. Verne, Amiens), J.-P. Caspar (Katholieke Universiteit te Leuven, Belgique), A. Dietrich et V. Krier (INRAP) pour leur aide sur le terrain, en laboratoire ou dans les tâches administratives.

BIBLIOGRAPHIE

- ALMOND, P.C. & TONKIN, P. J., 1999 - Pedogenesis by upbuilding in an extreme leaching and weathering environment, and slow loess accretion, south Westland, New Zealand. *Geoderma*, **92**, 1-36.
- ANTOINE, P., 1990 - *Chronostratigraphie et environnement du Paléolithique du Bassin de la Somme*. Publications du Centre d'Études et de Recherches préhistoriques, Université des Sciences et Technologies de Lille, **2**, 231 p.
- ANTOINE, P., 2002 - Contexte stratigraphique et paléopédologique ; Interprétation chronostratigraphique et environnementale. In : Loch J.L. (Dir.) *Le site de Bettencourt-Saint-Ouen (Somme), cinq occupations du Paléolithique moyen au début de la dernière glaciation*, Documents d'Archéologie Française (DAF), 16-39.
- ANTOINE, P., MUNAUT, A.V. & SOMMÉ, J., 1994 - Réponse des environnements à l'évolution climatique du Début Glaciaire weichselien : données de la France du Nord Ouest. *Quaternaire*, **5**, 151-156.
- ANTOINE, P., LAUTRIDOU, J.P., SOMMÉ, J., AUGUSTE, P., AUFFRET, J.P., BAIZE, S., CLET-PELLERIN, M., COUTARD, J.P., DEWOLF, Y., DUGUÉ, O., JOLY, F., LAIGNEL, B., LAURENT, M., LAVOLLÉ, M., LEBRET, P., LÉCOLLE, F., LEFEBVRE, D., LIMONDIN-LOZOUET, N., MUNAUT, A.V., OZOUEF, J.C., QUESNEL, F. & ROUSSEAU, D.D., 1998 - Le Quaternaire de la France du Nord-Ouest : Limites et Corrélations. *Quaternaire*, **9** (3), 227-241.
- ANTOINE, P., ROUSSEAU, D.D., LAUTRIDOU, J.P. & HATTÉ, C., 1999 - The Last Interglacial-Glacial climatic cycle in loess-palaeosols successions of northwestern France, *Boreas*, **4**, 551-563.
- ANTOINE, P., ROUSSEAU, D.D., ZÖLLER, L., LANG, A., MUNAUT, A.V., HATTÉ, C. & FONTUGNE, M., 2001 - High resolution record of the last Interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-palaeosol sequences, Upper Rhine Area Germany. *Quaternary International*, **76-77**, 211-229.
- ANTOINE, P., FRECHEN, M., LOCHT, J.L., MUNAUT, A.V., ROUSSEAU, D.D. & SOMMÉ, J., 2002 - Eemian and Weichselian Early-Glacial pedosedimentary records in Northern France : the back-ground of Middle Palaeolithic occupations during OIS 5 and early 4. *Publication du Centre d'Études et de Recherches préhistoriques* (CERP) Université de Lille, **8**, 75-88.
- ANTOINE, P., AUGUSTE, P., BAHAIN, J.J., COUDRET, P., DEPAEFE, P., FAGNART, J.P., FALGUÈRES, C., FONTUGNE, M., FRECHEN, M., HATTÉ, C., LAMOTTE, M., LAURENT, M., LIMONDIN-LOZOUET, N., LOCHT, J.L., MERCIER, N., MOIGNE, A.M., MUNAUT, A.V., PONEL, P. & ROUSSEAU, D.D., 2003 - Paléoenvironnements pléistocènes et peuplements paléolithiques dans le bassin de la Somme (Nord de la France). *Bulletin de la Société préhistorique Française*, (100)-1, 5-28.
- BAHAIN, J.J., LOCHT, J.L., DWIRLA, G., RAYMOND, P., ANTOINE, P., CASPAR, J.P., DEBENHAM, N., GAUTHIER,

- A., KRIER, V. & LIMONDIN, N., 1996 - *Le gisement paléolithique moyen du "Petit-Saule" et la séquence Pléistocène du "Chameson" de Villiers-Adam (Val d'Oise)*. Document Final de Synthèse, AFAN/SRA Ile de France/SDA Val d'Oise, 76 p.
- BALESCU, S., 1988 - *Apports de la thermoluminescence à la stratigraphie et à la sédimentologie des loess du Nord-Ouest de l'Europe*. Thèse de Doctorat de Sciences, Université de Bruxelles, 2 vol. I : 199 p. ; II : annexes, 144 p.
- BECZE-DEAK, J., LANGOHR, R. & VERRECHIA, E.P., 1997 - Small scale secondary CaCo₃ accumulations in selected sections of the European loess belt. Morphological forms, and potential for paleoenvironmental reconstruction. *Geoderma*, 76, 221-252.
- CASPERS, G. & FREUND, H., 2001 - Vegetation and Climate in the Early- and Pleniglacial in Northern central Europe. *Boreas*, 16 (1), 31-48.
- CAVELIER, C., 1967 - *Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille de Creil, XVIII-12 (127)*, BRGM, Orléans, notice 23 p.
- CANTI, M., 1998 - Origin of calcium carbonate granules found in buried soils and Quaternary deposits. *Boreas*, 27, 2275-2288.
- CORTIJO, E., REYNAUD, J.Y., LABEYRIE, L., PAILLARD, D., LEHMAN, B., CREMER, M. & GROUSSET, F., 1995 - Étude de la variabilité climatique à haute résolution dans les sédiments de l'Atlantique Nord. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 321 (IIa), 231-238.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHL-JENSEN, D., GUNDESTRUP, N.S., HAMMER, C.U., HVIDBJERG, C.S., STEFFENSEN, J.P., SVEINBJØRNSDOTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G., 1993 - Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- DRIESSEN, P.M. & DUDAL, R., 1991 - Greyzems. In P.M. Driessen & R. Dudal (eds.) *The Major soils of the World*, Agricultural University Wageningen, department of Soil Science & Geology, 245-248.
- ENGELMANN, A. & FRECHEN, M., 1998 - Datations TL/IRSL. In Antoine, P. (ed.) : *Le Quaternaire de la vallée de la Somme et du littoral picard*, Livret-guide de l'Excursion de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire dans le bassin de la Somme, Amiens, 41-42.
- ENGELMANN, A., FRECHEN, M. & ANTOINE, P., 1999 - Chronostratigraphie frühweichselzeitlicher kolluvialer Sedimente von Bettencourt-Saint-Ouen (Nord-Frankreich). In Becker-Hauman & M. Frechen (eds) *Terrestrische Quaternärgeologie*, Logabook, Köln, 12-22.
- FAO-UNESCO (1997) - *Colour chart of the 106 soil unit of the FAO-UNESCO Soil Map of the World Legend*, Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- FRECHEN, M., 1999 - Upper Pleistocene loess stratigraphy in Southern Germany. *Quaternary Geochronology*, 18, 243-269.
- GERASIMOVA, M.I., GUBIN, S.V. & SHOBA, S.A., 1996 - Soils of Northern Forest-Steppe -Grey forest-soils, In R. Miedema (ed.) *Soils of Russia and adjacent countries : Geography and Micromorphology*, Moscow-Wageningen, 123-134.
- GROOTES, P.M., STUIVER, M., WHITE, J.V.C., JOHNSEN, S. & JOUZEL, J., 1993 - Comparison of oxygen isotope records from the GISP2 and GRIP Greenland ice cores. *Nature*, 336, 552-554.
- GULLENTOPS, F., 1954 - Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes de relief en Belgique. *Mémoire de l'Institut de Géologie de l'Université de Louvain*, XVIII, 125-252.
- HAESAERTS, P., 1985 - Les loess du Pléistocène Supérieur en Belgique ; comparaison avec les séquences de l'Europe Centrale. *Bulletin de l'Association Française pour l'Étude du Quaternaire*, 22, 105-115.
- HAESAERTS, P., JUVIGNÉ, E., 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, discussions-remarques de R. Paepe et F. Gullentops, *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 104, 223-240.
- 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. & 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.
- HATTÉ, C., ANTOINE, P., FONTUGNE, M. R., ROUSSEAU, D.-D., TISNÉRAT-LABORDE, N. & ZÖLLER, L., 1999 - New chronology et organic matter $\delta^{13}C$ paleoclimatic significance of Nußloch loess sequence (Rhine Valley, Germany). *Quaternary International*, 62 (1), 85-91.
- HUIJZER, A.S., 1993 - *Cryogenic microfabrics and macrostructures : interrelations, processes, and paleoenvironmental significance*. PhD Thesis Vrije Universiteit Amsterdam, 245 p.
- LAUTRIDOU, J.P., 1985 - *Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie*. Thèse de Doctorat d'État, Université de Caen, 2 vol., 908 p.
- LEBRET, P. & HALBOUT, H., 1991 - Le Quaternaire du Val d'Oise. *Bulletin du Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen*, 39-40, 267 p.
- LIN, B., LIU, R. & AN, Z., 1991 - Preliminary research on stable isotopic compositions of Chinese loess. In L. Tungsheng (ed.) *Loess, Environment and Global Change*, Science Press, 124-131.
- LOCHT, J.L., ANTOINE, P. & SWINNEN, C., 1995a - Le gisement paléolithique de Plachy-Buyon (Somme). *Revue Archéologique de Picardie*, 3/4, 3-33.
- LOCHT, J.L., SWINNEN, C., ANTOINE, P., AUGUSTE, P., PATOU-MATHIS, M., DEPAEPE, P., FALGUÈRES, C., LAURENT, M. & BAHAIN, J.J., avec la collaboration de MATHYS, P., 1995b - Le gisement paléolithique moyen de Beauvais-"la Justice" (Oise-France). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 92-2, 213-226.
- LOCHT, J.L., BAHAIN, J.J., DWRILA, G., RAYMOND, P., ANTOINE, P., CASPAR, J.P., DEBENHAM, N., GAUTHIER, A., KRIER, V. & LIMONDIN, N., 1997 - *Le gisement paléolithique moyen du "Petit-Saule" et la séquence Pléistocène du "Chameson" de Villiers-Adam (Val d'Oise)*. Document Final de Synthèse, AFAN/SRA Ile de France/SDA Val d'Oise, 176 p.
- LOCHT, J.L., ANTOINE, P., AUGUSTE, P., CASPAR, P., DEPAEPE, P., ENGELMANN, A., FRECHEN, M., MICHEL, V., MUNAUT, A.V., RÉVILLON, S. & SWINNEN, C., 2002 - *Le site de Bettencourt-Saint-Ouen (Somme), cinq occupations du Paléolithique moyen au début de la dernière glaciation*, Documents d'Archéologie Française (DAF) Maison des Sciences de l'Homme, Paris, 168 p.
- LOCHT, J.-L., ANTOINE, P., BAHAIN, J.-J., DWRILA, G., RAYMOND, P., LIMONDIN-LOZOUET, N., GAUTHIER, A., DEBENHAM, N., FRECHEN, M., ROUSSEAU, D.-D., HATTÉ, C., HAESAERTS, P. & MESTDAGH, H., (sous-pressé) - Le gisement paléolithique moyen et les séquences pléistocènes de Villiers-Adam (Val d'Oise, France) : Chronostratigraphie, Environnement et Implantations humaines. *GALLIA Préhistoire*.
- LOWE, J.J. & WALKER, M.J.C., 1997 - *Reconstructing quaternary environments* Addison Wesley Limited, Longmann Limited (ed.). 2nd Edition, Harlow, 389 p.
- MARTINSON, D.G., PISIAS, N.G., HAYS, J.D., IMBRIE, J., MOOR, T.C. & SHACKLETON, N.J., 1987 - Age dating and the orbital theory of the Ice ages : development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy. *Quaternary Research*, 27, 1-29.
- MURTON, J.B. & FRENCH, H.M., 1993 - Thermokarst Involutions : Summer Island, Pleistocene Mackenzie Delta, Western Canadian Arctic. *Permafrost and Periglacial Processes*, 4, 217-229.

- PISSART, A., 1987** - *Géomorphologie Périglaciaire, textes et leçons de la chaire Francqui belge*. Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, 135 p.
- POMEROL, C. & FEUGUEUR, L., 1974** - *Bassin de Paris, Ile de France : Pays de Bray*. Guide Géologique Régional, Masson, Paris, 216 p.
- ROUSSEAU, D.D., ZÖLLER, L. & VALET, J.P., 1998** - Late Pleistocene climatic variations at Achenheim, France, based on a magnetic susceptibility and TL dating. *Quaternary Research*, **49**, 255-263.
- SCHIRMER, W., 2000** - Rhein loess, ice cores and deep-sea cores during MIS 2-5. *Z. dt. Geol. Ges.* **151-3**, 309-332.
- SHUGALEI, L.S., 1997** - Ecological features of Gray Forest Soils in the Forest-Steppe Zone of Central Siberia. *Eurasian Soil Science*, **31** (2), 209-218.
- SOMMÉ, J., PAEPE, R. & LAUTRIDOU, J.P., 1980** - Principes, méthodes et système de la stratigraphie du Quaternaire dans le Nord-Ouest de la France et la Belgique. In «Problèmes de stratigraphie quaternaire en France et dans les pays limitrophes». *Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, **1**, 148-162.
- SOMMÉ, J., MUNAUT, A.V., ETMONTSPOHL, A.F., LIMONDIN, N., LEFÈBRE, D., CUNAT-BOGE, N., MOUTHON, J. & GILOT, E., 1994** - The Watten boring : an Early Weichselian and Holocene climatic and paleoecological record from the French North-Sea coastal plain. *Boreas* (**23**) 231-243.
- TEDROW, J.C.F., 1977** - *Soils of the polar landscapes*. Rutgers University Press, New Brunswick, New Jersey, 638 p.
- VAN der HAMMEN, Th., 1995** - The Dinkel valley revisited : Pleniglacial stratigraphy of the eastern Netherlands and Global climatic change. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, **52**, 343-355.
- VAN VLIET-LANOË, B., 1987** - *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe du Nord-Ouest*. Thèse de Doctorat d'Etat, Université Paris I, Gand, Belgique, 864 p.
- VAN VLIET-LANOË, B., 1996** - Dynamics and extent of the weichselian permafrost in Western Europe (Substage 5e to Stage 1). *Quaternary international*, **3/4**, 109-113.
- WYNS, R. & MONCIARDINI, G., 1979** - *Carte géologique de la France à 1/50 000, Feuille de Méru XXI-12 (126)*, BRGM, Orléans, notice 61 p.
- WOILLARD, G. & MOOK, W., 1982** - Carbon dates at Grande Pile : correlation of land and sea chronologies. *Science*, **215**, 159-161.