

Comptes rendus de
l'Académie des sciences. Série
2, Sciences de la terre et des
planètes / dir. publ. Paul
Germain

Académie des sciences (France). Auteur du texte. Comptes rendus de l'Académie des sciences. Série 2, Sciences de la terre et des planètes / dir. publ. Paul Germain. 1996-11-04.

1/ Les contenus accessibles sur le site Gallica sont pour la plupart des reproductions numériques d'oeuvres tombées dans le domaine public provenant des collections de la BnF. Leur réutilisation s'inscrit dans le cadre de la loi n°78-753 du 17 juillet 1978 :

- La réutilisation non commerciale de ces contenus ou dans le cadre d'une publication académique ou scientifique est libre et gratuite dans le respect de la législation en vigueur et notamment du maintien de la mention de source des contenus telle que précisée ci-après : « Source gallica.bnf.fr / Bibliothèque nationale de France » ou « Source gallica.bnf.fr / BnF ».

- La réutilisation commerciale de ces contenus est payante et fait l'objet d'une licence. Est entendue par réutilisation commerciale la revente de contenus sous forme de produits élaborés ou de fourniture de service ou toute autre réutilisation des contenus générant directement des revenus : publication vendue (à l'exception des ouvrages académiques ou scientifiques), une exposition, une production audiovisuelle, un service ou un produit payant, un support à vocation promotionnelle etc.

[CLIQUER ICI POUR ACCÉDER AUX TARIFS ET À LA LICENCE](#)

2/ Les contenus de Gallica sont la propriété de la BnF au sens de l'article L.2112-1 du code général de la propriété des personnes publiques.

3/ Quelques contenus sont soumis à un régime de réutilisation particulier. Il s'agit :

- des reproductions de documents protégés par un droit d'auteur appartenant à un tiers. Ces documents ne peuvent être réutilisés, sauf dans le cadre de la copie privée, sans l'autorisation préalable du titulaire des droits.

- des reproductions de documents conservés dans les bibliothèques ou autres institutions partenaires. Ceux-ci sont signalés par la mention Source gallica.BnF.fr / Bibliothèque municipale de ... (ou autre partenaire). L'utilisateur est invité à s'informer auprès de ces bibliothèques de leurs conditions de réutilisation.

4/ Gallica constitue une base de données, dont la BnF est le producteur, protégée au sens des articles L341-1 et suivants du code de la propriété intellectuelle.

5/ Les présentes conditions d'utilisation des contenus de Gallica sont régies par la loi française. En cas de réutilisation prévue dans un autre pays, il appartient à chaque utilisateur de vérifier la conformité de son projet avec le droit de ce pays.

6/ L'utilisateur s'engage à respecter les présentes conditions d'utilisation ainsi que la législation en vigueur, notamment en matière de propriété intellectuelle. En cas de non respect de ces dispositions, il est notamment passible d'une amende prévue par la loi du 17 juillet 1978.

7/ Pour obtenir un document de Gallica en haute définition, contacter utilisation.commerciale@bnf.fr.

Révision du stratotype loessique de Kesselt (Limbourg, Belgique)

Étienne Juvigné, Paul Haesaerts, Hans Mestdagh, Albert Pissart et Sanda Balescu

Résumé La coupe de Kesselt est considérée, depuis sa découverte en 1954, comme le stratotype du loess weichselien de Moyenne Belgique orientale. L'avancée du front de taille en 1995 a fait apparaître, à mi-hauteur de la coupe, un sol lessivé de type interglaciaire, surmonté par un horizon humifère contenant de la cendre d'une téphra du Weichselien inférieur. Ces faits nouveaux conduisent à attribuer la séquence loessique sous-jacente, non plus au Weichselien, mais au Pléistocène moyen, ce qui modifie radicalement l'interprétation chronostratigraphique de la moitié inférieure du stratotype.

Mots-clés : Belgique, Kesselt, Stratigraphie, Loess, Paléosol, Téphra, Weichselien, Émien, Pléistocène moyen.

Abstract Revision of the loess stratotype of Kesselt (Limbourg, Belgium)

For forty years, the section of Kesselt has been considered as the Weichselian stratotype of eastern Middle Belgium. The recent advance of the quarry displays, interbedded at mid-height of the section, an interglacial paleosol overlain by a humic horizon containing reworked ash of an early Weichselian tephra. This finding allows us to displace the underlying series of loess and paleosols from Weichselian to Middle Pleistocene and modifies the chronostratigraphic interpretation of the lower half of the Kesselt stratotype.

Keywords: Belgium, Kesselt, Stratigraphy, Loess, Paleosol, Tephra, Weichselian, Eemian, Middle Pleistocene.

Abridged English Version

SINCE Gullentops (1954) described the loess section of the Nelissen brickyard at Kesselt in Limburg/Belgium (**fig. 1**), that sequence has been considered as the Weichselian stratotype for eastern Middle Belgium due to both the thickness of that loess body and its high number of paleosols. None of the following multidisciplinary investigations that have been done at various places in the quarry (**fig. 1**) for the last four decades, challenged the original chronostratigraphical model: palynology (Bastin, 1971), lithostratigraphy and heavy minerals (Juvigné, 1976, 1978 *a*), microstructures of soils (Haesaerts and Van Vliet-Lanoë, 1981), lithostratigraphy and ¹⁴C dating (Haesaerts *et al.*, 1981; Huijzer, 1993), ¹⁴C dating (Gullentops, 1981), clay mineral and geochemical analyses (Moors, 1989), lithostratigraphy and geochemical ana-

lyses (Juvigné and Moors, 1995). Thermoluminescence investigations of quartz and alkali feldspars (40-50 µm) of NW European loess showed that the lower half of the Kesselt section yielded an upper Saalian relative TL-age (Balescu *et al.*, 1986; Balescu, 1988); this was in disagreement with the current chronostratigraphic interpretation of the section and was so far not followed. The main stratigraphical results that were obtained by the above cited authors are represented in figure 2.

A recent advance of the quarry (**fig. 1**, 1995) has displayed at the mid height of the section (**fig. 2 B**), an interglacial paleosol (LBA) with a top light gray layer of reworked silt (LGC), overlain by a humic horizon (LH) containing a high amount of reworked ash of an early Weichselian tephra (Rocourt Tephra). This sequence is similar to those that

C.R. Acad. Sci. Paris,
t. 323, série II a,
p. 801 à 807,
1996

E. J. et A. P. : Université de Liège,
Département de Géographie Physique
et du Quaternaire, Sart Tilman,
Bât. n° 12, 4000 Liège, Belgique ;

P. H. et H. M. : Institut Royal
des Sciences Naturelles de Belgique,
rue Vautier, 29, 1000 Bruxelles,
Belgique ;

S. B. : Université du Québec
à Montréal,
Département des Sciences de la Terre,
CP 8888 suc. A, Montréal H3C3P8,
Canada.

Note

présentée par
Jean Dercourt.

remise le 3 juin 1996,
acceptée après révision
le 18 juillet 1996.

are well known in other loess sections of Belgium where the interglacial paleosol and the humic tephric horizon represent respectively the Eemian and an early Weichselian paleosols; the relevant localities are Wanlin (Juvigné, 1979), Tongrinne (Paepe, 1966; Juvigné, 1978 *b*) and last but not least they stratotype at Rocourt (Gullentops, 1954). The present exposure at Kesselt allows us to shift the underlying series of loess with tundra gleys from the Weichselian to the Middle Pleisto-

cene and modified totally the chronostratigraphic interpretation of the lower half part of the stratotype.

The interglacial paleosol LBA should be the Eemian soil, the loess body including the tundra gleys should be correlated with the Saalian glaciation. The lowermost interglacial fossil soil (LBP) cannot be older than the isotope stage 15, based upon the chronostratigraphic model of the nearby terraces of the River Meuse (Juvigné and Renard, 1991).

I. LE STRATOTYPE DE KESSELT : ÉTAT DES CONNAISSANCES

Depuis 1954, il existe en Belgique deux stratotypes loessiques complémentaires : Rocourt et Kesselt (**fig. 1**). Celui de Rocourt contient notamment le Sol de Rocourt qui, en Belgique orientale, assure le relais du paléosol eémien, reconnu à travers l'Europe moyenne. L'originalité du stratotype de Kesselt (**fig. 2**) réside dans sa forte épaisseur (environ 15 m) et la présence, sous la séquence classique du Weichselien supérieur (environ 5 m), d'une alternance de loess et de cinq gleys de toundra (environ 8 m); le présent travail va montrer que ce stratotype doit passer du Weichselien inférieur au Pléistocène moyen.

Dans la carrière de la briqueterie Nélisten à Kesselt, Gullentops (1954) a décrit une coupe d'environ 8 m de loess (**fig. 1**, 1981 et **fig. 2 C**). Il y a identifié quatre paléosols, de haut en bas : *a*) un horizon brunâtre cryoturbé, dénommé plus tard « horizon à langues de Nagelbeek » (Haesaerts *et al.*, 1981) ; *b*) un horizon décalcifié de teinte orange (dénommé « Sol de Kesselt ») ; *c*) deux gleys de toundra (Nassboden). Il a placé l'ensemble de la séquence dans le Weichselien, et a mis le Sol de Kesselt en relation avec un interstade majeur du milieu de la dernière glaciation.

Juvigné (1974) a fait ouvrir une tranchée, dans la partie nord, alors abandonnée, de la carrière (**fig. 1**, 1974 ; **fig. 2 D**), et y a reconnu notamment un paléosol interglaciaire et un horizon humifère, séparés par environ 50 cm de limon marmorisé gris rouille,

contenant une quantité importante de cendre volcanique, appartenant à une téphra du Weichselien inférieur : la Téphra de Rocourt (Gullentops, 1954 ; Juvigné, 1978 *b*). Selon Haesaerts et Van Vliet-Lanoë (1981), l'analyse micromorphologique du limon marmorisé et du paléosol interglaciaire sous-jacent a permis d'y reconnaître trois phases d'illuviation d'intensité décroissante, comparables à celles enregistrées dans le sol éémien du stratotype loessique de Rocourt, et connu sous le nom de Sol de Rocourt (Gullentops, 1954).

Haesaerts (*in* Haesaerts *et al.*, 1981) a fait ouvrir une tranchée dans le fond de la carrière (**fig. 1**, 1981) et y a observé de haut en bas, sous le profil décrit par Gullentops (1954) : deux gleys de toundra supplémentaires (avec pseudomorphoses de fentes de gel à remplissage de glace) et une racine de paléosol interglaciaire, représentée par 2 m de limon brun décarbonaté (**fig. 2 C** : LBP). En l'absence de continuité entre les coupes de 1974 et de 1981, Haesaerts *et al.* (1981) ont supposé que le sol interglaciaire et l'horizon humifère décrits en 1974 s'étaient développés sur un paléoplateau, dans lequel un large chenal aurait été creusé postérieurement. Ce chenal aurait ensuite été colmaté par des apports de loess weichseliens alternant avec le développement de gleys de toundra (G1 à G4 : **fig. 2 C**).

De 1954 à ce jour, l'essentiel des résultats obtenus par d'autres chercheurs dans la carrière de Kesselt se sont accommodés des modèles stratigraphiques complémentaires décrits ci-dessus : détermination de pollen (Bastin, 1971), détermination de minéraux

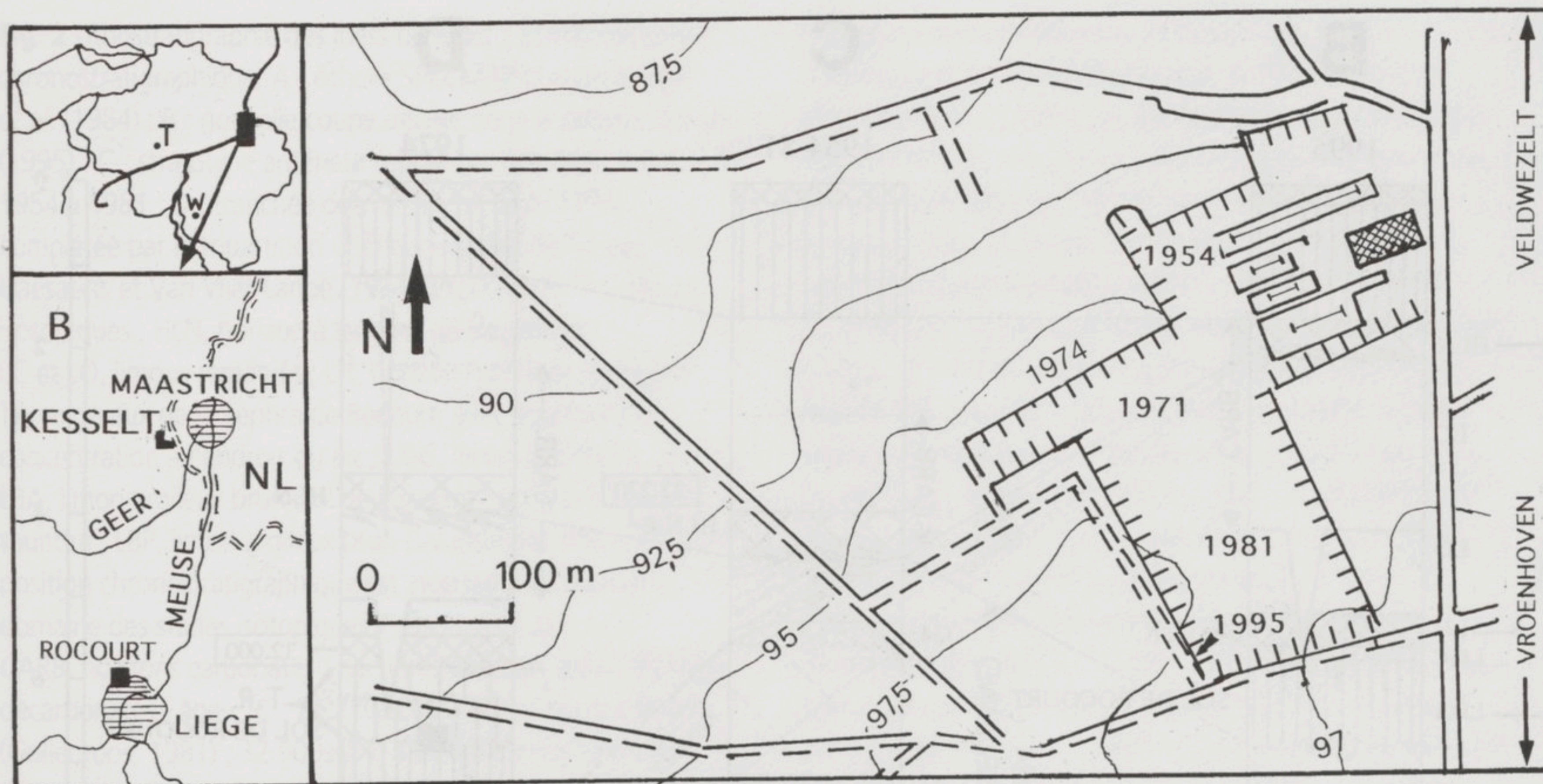


Fig. 1 Localisation de la briqueterie Nelissen à Kesselt et position des coupes étudiées depuis 1954. Explications. T = Tongrinne ; W = Wanlin ; les millésimes indiquent les endroits où se trouvaient les coupes étudiées antérieurement (voir texte et figure 2).

Localisation of the Nelissen Brickyard at Kesselt as well as position of sections studied since 1954. Explanation. A: T = Tongrinne; W = Wanlin; C = the location of calender years correspond to the sections described earlier (see text and figure 2).

denses (Juvigné, 1978 a), analyses des argiles par rayons X (Moors, 1989), études de microstructures pédologiques (Van Vliet-Lanoë, 1992 ; Huijzer, 1993), analyses géochimiques de loess (Juvigné et Moors, 1995).

Les seules données antérieures qui ne se soient pas accommodées de l'âge weichselien des loess à gleys de toundra ont été obtenues par Balescu (1988). Elles résultent d'une étude de la thermoluminescence des quartz et des feldspaths alcalins de 40 à 50 μm des loess de l'Europe du NW, tendant à distinguer les loess weichseliens de ceux du Pléistocène moyen. Les loess à gleys de toundra de Kesselt (**fig. 2 C**) étaient placés dans le Saalien supérieur (stade isotopique 6). Leurs âges TL relatifs étaient identiques à ceux obtenus pour les loess saaliens supérieurs de Kesselt (**fig. 2 D**, niveau Sol de Rocourt), de Rocourt et de Tongrinne.

II. UNE NOUVELLE SÉQUENCE

En 1995, le front de taille a avancé d'une cinquantaine de mètres vers le Sud (**fig. 1**, 1995) et a mis au jour de nouveaux horizons (**fig. 2 B**). Ceux-ci sont localisées à mi-hauteur du front de taille, entre l'horizon à langues de Nagelbeek et les gleys de toundra, dans un paléovallon ouvert vers le SW. On y observe notamment trois unités qui présentent un intérêt chronostratigraphique particulier. Elles sont décrites ci-après de bas en haut.

– Un limon brun ocre (LBA) d'environ un mètre d'épaisseur, caractérisé par une forte structure polyédrique résultant très probablement de la formation de glace de ségrégation, et dont les surfaces structurales sont tapissées par d'abondants revêtements argileux bruns. Il s'agit de l'horizon argilique (B_{2t}) d'un sol lessivé, développé dans la partie supérieure des loess à gleys de toundra, préalablement décarbonatés sur plus de 4 m de profondeur.

– Une couche décimétrique de limon gris clair (LGC), soulignée par un réseau de pseudomorphoses de fentes de gel d'environ 50 cm de profondeur, incorporant des fragments sub-arrondis de limon brun. Cette couche qui s'apparente à un horizon éluvial, traduit un épisode d'érosion associé à une nette péjoration climatique, au cours de laquelle les horizons supérieurs du sol lessivé furent remaniés sur le versant du vallon. Ce processus s'est également accompagné d'une phase de diffusion silteuse par percolation d'eau de fonte de neige, qui a aussi affecté la partie supérieure de l'horizon argilique sous-jacent.

– Un horizon humifère décarbonaté d'environ 50 cm d'épaisseur (LH), pénétré de plusieurs générations de krotovines. La moitié inférieure de cet horizon présente une structure lamellaire fine (environ 2 m), avec revêtements silteux sur les surfaces structurales. L'ensemble enregistre assurément

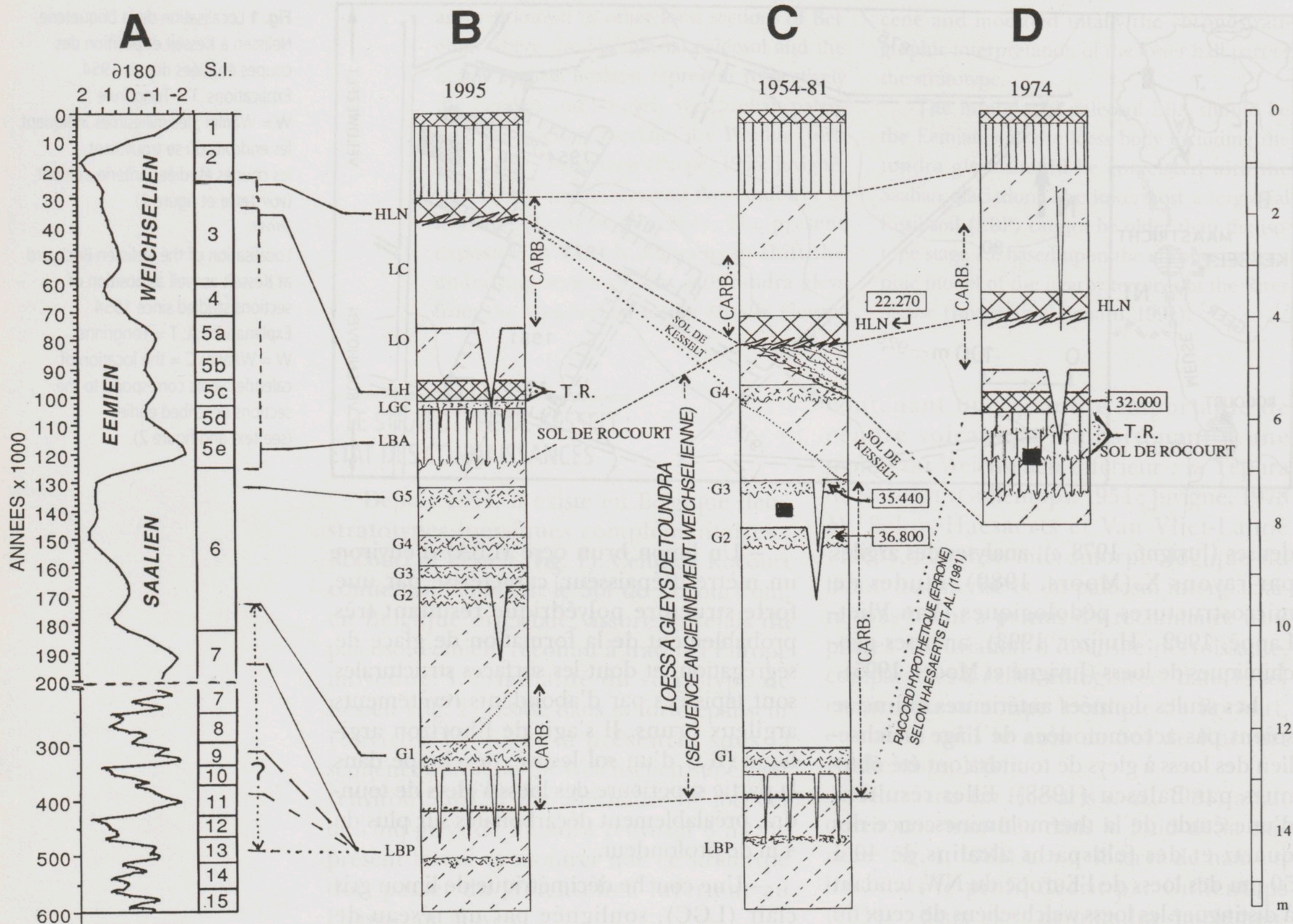


Fig. 2 Légende page suivante.

Caption on following page.

ment un épisode de sédimentation colluviale sous végétation herbacée, suivie d'une phase de gel profond. Cet horizon humifère contient également, à l'état dispersé, une quantité importante de cendres de la Téphra de Rocourt, avec notamment son minéral guide, l'hypersthène En_{87-93} (classification de Morimoto, 1988 ; anciennement enstatite), accompagnée par l'augite Wo_{35-45} (classification de Morimoto, 1988) et la kaersutite/pargasite (classification de Leake, 1978). Pour la première fois, des verres ont été trouvés en compagnie des minéraux denses et les analyses par microsonde ont donné des totaux compris entre 82 et 92 % pour 10 éléments majeurs, dont les parts normalisées à 100 % se répartissent de la façon suivante : SiO_2 (51,77 %), Al_2O_3

(29,09 %), TiO_2 (0,88 %), Cr_2O_3 (0,06 %), FeO_t (11,49 %), MnO (0,08 %), MgO (1,95 %), CaO (1,98 %), Na_2O (0,19 %), K_2O (2,52 %). Les faibles totaux (82 à 92 %), l'enrichissement en Al_2O_3 (29 %) et les faibles parts du groupe $CaO+Na_2O+K_2O$ (4 %) attestent une altération évoluée des verres (smectitisation).

Dans la coupe actuelle, les trois unités décrites ci-dessus sont surmontées par deux couches limoneuses (LO et LC) qui terminent le remplissage du paléovallon. Ces deux couches sont séparées l'une de l'autre par une génération de grandes pseudomorphoses de fente de gel, à remplissage de glace. La couche LC est carbonatée et immédiatement sous-jacente à l'horizon à langues de Nagelbeek.

Fig. 2 Lithostratigraphie des loess de Kesselt et interprétation chronostratigraphique. A : échelle SPECMAP d'après Imbrie et al. (1984) ; B : nouvelle coupe décrite dans le présent article (1995) ; C : stratotype antérieur étudié par différents auteurs de 1954 à 1981 ; D : tranchée décrite par Juvigné (1974), complétée par la tripartition ultérieure du Sol de Rocourt selon Haesaerts et Van Vliet-Lanoë (1981). Explications. S.I., stades isotopiques ; HLN, horizon à langues de Nagelbeek ; LC et LO, limons remaniés ; LH, horizon humifère téphrique ; TR, minéraux de la Téphra de Rocourt, avec maximum de concentration à l'endroit du pic ; LGC, limon gris clair ; LBA, limon argileux brun (sol de Rocourt) ; G1 à G5, gleys de toundra ; LBP, limon argileux brun (sol interglaciaire dont la position chronostratigraphique est incertaine (?) dans le domaine des stades isotopiques 7, 9, 11 ou 13). CARB, horizons carbonatés ; hachures obliques espacées, loess décarbonatés ; âges ^{14}C : 22.270±280 a BP sur humus brut (Gullentops, 1981) ; 32 000±270 a BP sur humus résiduel (Haesaerts et al., 1981) ; 35 440 +1 770/-1 450 a BP et 36 800 + 2 180/-1 720 a BP sur coquilles (Huijzer, 1993) ; carrés noirs, échantillons datés par thermoluminescence (Balescu, 1988).

Lithostratigraphy of the loess at Kesselt and the chronostratigraphical interpretation. A: SPECMAP scale after Imbrie et al. (1984); B: the new section studied in this paper (1995); C, the previous stratotype studied by various authors from 1954 to 1981; D: excavation described by Juvigné (1974), including the threefold partition of the Rocourt Soil after Haesaerts and Van Vliet-Lanoë (1981). Explanations. S.I., isotope stages; HLN = Nagelbeek tongued horizon; LC and LO, reworked silt; LH, humic and tephric horizon; TR, minerals of the Rocourt Tephra with highest amount corresponding to the pic; LGC, light gray silt; LBA, brown clayey silt (Rocourt soil); G1 à G5, tundra gleys; LBP, brown clayey silt (interglacial paleosol; its age is uncertain (?) within the time ranges of isotope stages 7, 9, 11 or 13). CARB, carbonate rich horizons; diagonal hachures, decarbonated horizons; ^{14}C ages; 22,270±280 a BP on rough humus (Gullentops, 1981); 32,000±270 a BP on residual humus (Haesaerts et al., 1981); 35,4440+1,770/-1,450 a BP and 36,800+2,180/-1,720 a BP on shells (Huijzer, 1993); black squares, samples dated by TL-method (Balescu, 1988).

La continuité actuelle du front de taille montre que la séquence décrite ci-dessus est sus-jacente aux loess à gleys de toundra (**fig. 2 B et C**), considérée comme weichselienne jusqu'à ce jour. En conséquence, le raccord hypothétique proposé par Haesaerts et al. (1981) entre la coupe de 1974 et la partie centrale du stratotype (**fig. 2 C et D**), doit être modifié : (1) les deux séquences contenant un paléosol interglaciaire, la Téphra de Rocourt remaniée et l'horizon humifère sont dans les paléovallons ; (2) les loess à gleys de toundra sont en position d'interfluve.

III. NOUVELLE INTERPRÉTATION CHRONOSTRATIGRAPHIQUE DU STRATOTYPE DE KESSELT (FIG. 2)

La succession des horizons LBA, LGC et LH est identique à celle du stratotype du paléosol interglaciaire eemien à Rocourt (Gullentops, 1954 ; Haesaerts et al., 1981). De plus, une succession identique a aussi été trouvée à Kesselt (Juvigné, 1974), à Tongrinne (Paepe, 1966 ; Juvigné, 1978 *b*) et à Wanlin (Juvigné, 1979) et dans chaque cas, l'âge Eemien de la racine de sol interglaciaire, établi par corrélation avec le stratotype de Rocourt n'a jamais été contesté. En

conséquence, la corrélation entre LBA et le stade isotopique 5 s'impose (**fig. 2 A et B**).

Pour déterminer la position chronostratigraphique des deux paléosols weichseliens de Kesselt (HLN : 22 270 ± 280 a BP ; LH : 32 000 ± 270 a BP) dans l'échelle SPECMAP (Imbrie et al., 1984), il faut tenir compte des faits suivants :

a) la datation ^{14}C de l'humus d'un paléosol ne donne qu'un âge minimum (Evin, 1992);

b) la calibration des dates ^{14}C (Stuiver et al., 1991) ne peut être appliquée qu'à l'âge 22 270 a BP de l'horizon à langues de Nagelbeek et donne environ 25 000 ans : l'âge du sol LH est trop ancien pour être calibré ;

c) l'âge de la retombée de la Téphra de Rocourt est compris entre 61,5 et 106 ka U/Th (Gewelt et Juvigné, 1986) ; tout sédiment contenant la cendre remaniée est donc nécessairement plus jeune que 106 ka.

En conséquence, l'horizon à langues de Nagelbeek (HLN) se place soit au début du stade isotopique 2 qui, paradoxalement pour un paléosol, représente la plus forte péjoration climatique de la dernière glaciation, soit à la fin du stade isotopique 3. Quant à l'horizon humifère (LH), il peut être mis en corrélation avec le stade isotopique 3, ou mieux, avec l'un des paléosols fréquemment repéré

en France septentrionale dans le Weichselien ancien (Clet *et al.*, 1986).

Les positions chronostratigraphiques respectives des unités plus anciennes que LBA sont aléatoires. En altitude absolue, la séquence loessique de Kesselt se situe entre 97,5 et 82,5 m. En se rapportant au modèle chronostratigraphique établi pour les terrasses de la Meuse toute proche (Juvigné et Renard, 1991), le loess de Kesselt ne peut être plus ancien que la terrasse de 82,5 m dont l'âge est compris entre 600 et 400 ka. Il en résulte que la stratigraphie des loess pré-weichseliens de Kesselt ne peut être revue que dans un cadre chronologique postérieur au stade isotopique 15 (**fig. 2 A**).

La séquence des loess à gleys de toundra comprise entre LBP et LBA est donc flottante entre les stades isotopiques 5 et 15. Toutefois, la position stratigraphique dans le Saalien (stade isotopique 6), qui lui fut attribuée par Balescu (1988), prend aujourd'hui toute sa valeur. La grande taille des pseudomorphoses de fentes de gel à remplissage de glace, qui existent dans cette séquence, s'accommode aussi parfaitement de cette corrélation, car le stade isotopique 6 correspond au maximum d'extension de la calotte scandinave.

Les seules données en désaccord avec le modèle proposé ci-dessus sont les âges ^{14}C obtenus sur des coquilles de deux gleys de toundras (**fig. 2 C** : 35 440 et 36 800 a BP ; Huijzer, 1993). Toutefois, il existe une problématique bien connue des âges ^{14}C obtenus sur coquilles (Evin, 1992) et les études géochimiques du loess de Kesselt (Juvigné et Moors, 1995) ont démontré la grande mobi-

lité des carbonates au sein du dépôt. Il n'est donc pas exclu que les coquilles datées aient été porteuses de carbonates récents reprécipités.

À ce stade, il convient aussi de rappeler que le « Sol de Kesselt » (s.s.) situé immédiatement sous l'horizon à langues (**fig. 2 C**, partie gauche), a été interprété comme un paléosol correspondant à l'interstade majeur de la dernière glaciation (Gullentops, 1954) et, à ce titre, a été cité dans des corrélations impliquant diverses coupes de loess d'Europe moyenne. Une confusion à son sujet a été mise en exergue antérieurement (Hae-saerts *et al.*, 1981). Il se présente maintenant comme la racine du Sol de Rocourt (**fig. 2 C**, partie droite).

IV. CONCLUSION

Avec ses 15 m d'épaisseur et ses neuf paléosols, la carrière de Kesselt est actuellement le plus riche stratotype loessique de Belgique. On y trouve notamment des horizons que l'on peut suivre depuis au moins le Nord de la France jusqu'en Allemagne moyenne : (1) paléosol humifère du Weichselien supérieur (Horizon à langues de Nagelbeek) ; (2) le sol eemien (Sol de Rocourt). La découverte de l'horizon humifère téphrique (Téphra de Rocourt) sur sol eemien place la séquence à gleys de toundra sous-jacente dans le Pléistocène moyen (probablement dans le Saalien) et ouvre ainsi de nouvelles perspectives de corrélation avec les coupes notamment du Nord de la France et de la vallée du Rhin.

Remerciements. Des remerciements sont adressés à notre collègue J. Vandenberg (Vrije Universiteit d'Amsterdam) pour les discussions que nous avons eues au cours de nos recherches respectives à Kesselt. Il prépare une publication sur le stratotype de Kesselt.

Ce travail a été soutenu par le Centre de services et Réseaux de recherche pour le compte de l'État belge, Services fédéraux des Affaires scientifiques techniques et culturelles.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

BALESCU, S., 1988. Apports de la thermoluminescence à la stratigraphie et à la sédimentologie des loess saaliens du NW de l'Europe, *Thèse*, Université libre de Bruxelles, Département des Sciences de la Terre et de l'Environnement, 199 p.

BALESCU, S., DUPUIS, C. et QUINIF, Y., 1986. La thermoluminescence du quartz : un marqueur stratigraphique et paléogéographique des loess saaliens et weichseliens du NO de l'Europe, *C. R. Acad. Sci. Paris*, 302, série II, p. 779-784.

- BASTIN, B., 1971. Recherche sur l'évolution du peuplement végétal en Belgique durant la glaciation de Würm, *Acta Geographica Lovaniensia*, 9, 136 p.
- CLET, M., COUTARD, J.P., LAUTRIDOU, J.P., LEBRET, P., OZOUF, J.C. et VAN VIET-LANOË, B., 1986. Les oscillations climatiques en Normandie entre 125 000 BP et le maximum glaciaire, *Bulletin de l'Association française pour l'Étude du Quaternaire*, 1/2, p. 105-109.
- EVIN, J., 1992. Les datations par le radiocarbone en géologie et en archéologie. Fiabilité de la méthode selon l'origine des matériaux, *Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon*, 122, 99 p.
- GEWELT, M. et JUVIGNÉ, E., 1986. Les « téphra de Remouchamps », un nouveau marqueur stratigraphique dans le Pléistocène supérieur daté par $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 109, p. 489-497.
- GULLENTOPS, F., 1954. Contribution à la chronologie du Pléistocène et des formes du relief en Belgique, *Mémoires de l'Institut géologique de l'Université de Louvain*, 18, p. 125-252.
- GULLENTOPS, F., 1981. About the climate of the last glaciation in NW Europe, In: *Symposium on Quaternary Climatic Variations*, Université catholique de Louvain, Louvain-la-Neuve, p. 22.
- HAESAERTS, P., JUVIGNÉ, E., KUYL, O., MUCHER, H. et ROEBROEKS, W., 1981. Compte rendu de l'excursion du 13 juin 1981, en Hesbaye et au Limbourg néerlandais, consacrée à la stratigraphie des loess du Pléistocène supérieur, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 104, p. 223-240.
- HAESAERTS, P. et VAN VLIET-LANOË, B., 1981. Phénomènes périglaciaires et sols fossiles observés à Maisières-Canal, à Harmignies et à Rocourt, *Biuletyn Peryglacjalny*, 28, p. 291-324.
- HUIJZER, A.S., 1993. Cryogenic microfacies and macrostructures, *Thèse de Doctorat*, Vrije Universiteit Amsterdam, 245 p.
- IMBRIE, J., HAYS, D., MARTINSON, D.G., McINTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L. et SHACKLETON, N.J., 1984. The orbital theory of Pleistocene climate : support from a revised chronology of the marine ^{18}O records, In: *Milankovich and Climate*, BERGER, A. et al., éd., Reidel Publishers Co., Dordrecht, p. 269-306.
- JUVIGNÉ, E., 1974. Découverte de minéraux volcaniques à Kesselt (Limbourg). Note préliminaire, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 97, p. 287-288.
- JUVIGNÉ, E., 1978 a. Les minéraux denses transparents des loess de Belgique, *Zeitschrift für Geomorphologie*, 22, p. 68-88.
- JUVIGNÉ, E., 1978 b. Zone de dispersion et âge des poussières volcaniques du tuf de Rocourt, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 100, p. 13-22.
- JUVIGNÉ, E., 1979. Étude stratigraphique des dépôts du méandre recoupé de la Lesse à Wanlin (Famenné), *Bulletin de la Société géographique de Liège*, 15, p. 65-75.
- JUVIGNÉ, E. et MOORS, C., 1995. Géochimie et minéralogie du loess de moyenne Belgique orientale, *Quaestiones Geographicae*, 1995/4, p. 125-132.
- JUVIGNÉ, E. et RENARD, F., 1991. Les terrasses de la Meuse entre Liège et le Sud du Limbourg, *Annales de la Société géologique de Belgique*, 115, p. 167-186.
- LEAKE, B., 1978. Nomenclature of amphiboles, *The Canadian Mineralogist*, 16, p. 501-520.
- MOORS, C., 1989. Contribution à l'étude minéralogique (minéraux argileux) et géochimie des loess et paléosols du Pléistocène de Kesselt et de Lixhe (Est de la Belgique), *Mémoire de Licence*, Université de Liège, Laboratoire de Géologie des Argiles, 101 p. et 1 fascicule annexe.
- MORIMOTO, N., 1988. Nomenclature of pyroxenes, *Bulletin de Minéralogie*, 11, p. 535-550.
- STUIVER, M., BRAZIUNAS, T., NECKER, B. et KROMER, B., 1991. Climatic, oceanic and geomagnetic influences on Late-Glacial and Holocene atmospheric $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ change, *Quaternary Research*, 35, p. 1-24.