



HAL
open science

La coupe de Nantois (Baie de Saint Briec, France) : datations par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne.

Stéphane Loyer, Brigitte van Vliet-Lanoë, Jean-Laurent Monnier, Bernard
Hallégouet, Norbert Mercier

► To cite this version:

Stéphane Loyer, Brigitte van Vliet-Lanoë, Jean-Laurent Monnier, Bernard Hallégouet, Norbert Mercier. La coupe de Nantois (Baie de Saint Briec, France) : datations par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne.. *Quaternaire*, 1995, 6 (1), pp.21-33. 10.3406/quate.1995.2034 . hal-01961732

HAL Id: hal-01961732

<https://hal.science/hal-01961732>

Submitted on 5 Feb 2021

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

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



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

La coupe de Nantois (Baie de Saint-Brieuc, France) : Datations par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne [The Nantois section (Saint-Brieuc Bay France) : New thermoluminescence (TL) datings and palaeoenvironmental data for the Pleistocene of Brittany.]

Stephane Loyer, Madame Brigitte Van Vliet-Lanoë, Jean Laurent Monnier, Bernard Hallegouet, Norbert Mercier

Citer ce document / Cite this document :

Loyer Stephane, Van Vliet-Lanoë Brigitte, Monnier Jean Laurent, Hallegouet Bernard, Mercier Norbert. La coupe de Nantois (Baie de Saint-Brieuc, France) : Datations par thermoluminescence (TL) et données paléoenvironnementales nouvelles pour le Pléistocène de Bretagne [The Nantois section (Saint-Brieuc Bay France) : New thermoluminescence (TL) datings and palaeoenvironmental data for the Pleistocene of Brittany.]. In: Quaternaire, vol. 6, n°1, 1995. pp. 21-33;

doi : <https://doi.org/10.3406/quate.1995.2034>

https://www.persee.fr/doc/quate_1142-2904_1995_num_6_1_2034

Fichier pdf généré le 19/04/2018

Résumé

Les loess déposés en période glaciaire au cours du Pléistocène peuvent être datés par la méthode de la thermoluminescence (TL). L'âge de tels dépôts coïncide alors avec la remise à zéro du signal de TL due à l'exposition des minéraux au rayonnement solaire lors de leur transport éolien. Les premiers résultats obtenus par cette méthode, sur la fraction éolienne du quartz, ont permis de dater des sédiments d'âge allant jusqu'à 100 ka (100000 ans) et confirment la plupart des interprétations stratigraphiques établies dans la région de Saint-Brieuc. Des éléments paléoenvironnementaux nouveaux sont présentés. Nous montrons l'existence d'un pergélisol marqué au Pléniglaciaire Weichsélien, son absence pendant l'essentiel du Saalien, le caractère moins froid et plus humide du Saalien par rapport au Weichsélien, la persistance d'un niveau marin élevé à 103 ka et la présence de 4 interglaciaires sur une même plate-forme littorale (stades 1, 5, 7 et 9?).

Abstract

Loess deposited during Pleistocene glacial periods can be dated by the thermoluminescence (TL) method. The age of such deposit corresponds to the bleaching of the TL signal of minerals as they are exposed to sunlight during their aeolian transport. The first results obtained on the aeolian quartz fraction by this method have allowed to date sediments as old as 100 ky (100000 years) and do confirm most of the previous stratigraphical interpretations in the Saint-Brieuc area. New palaeoenvironmental data are presented. We have shown the existence of a marked permafrost during the Pleniglacial Weichselien, its absence during most of the Saalien, the warmer and more humid conditions during the Saalien than during the last glaciation, the persistence of an high sea level at 103 ka and the existence of 4 interglacials on the same littoral platform (stages 1, 5, 7 and 9?).

LA COUPE DE NANTOIS (Baie de Saint-Brieuc, FRANCE): DATATIONS PAR THERMOLUMINESCENCE (TL) ET DONNEES PALEOENVIRONNEMENTALES NOUVELLES POUR LE PLEISTOCENE DE BRETAGNE

■
Stéphane LOYER*, Brigitte VAN VLIET-LANOE**,
Jean-Laurent MONNIER***, Bernard HALLEGOUET****
et Norbert MERCIER*****

RESUME

Les loess déposés en période glaciaire au cours du Pléistocène peuvent être datés par la méthode de la thermoluminescence (TL). L'âge de tels dépôts coïncide alors avec la remise à zéro du signal de TL due à l'exposition des minéraux au rayonnement solaire lors de leur transport éolien. Les premiers résultats obtenus par cette méthode, sur la fraction éolienne du quartz, ont permis de dater des sédiments d'âge allant jusqu'à 100 ka (100000 ans) et confirment la plupart des interprétations stratigraphiques établies dans la région de Saint-Brieuc. Des éléments paléoenvironnementaux nouveaux sont présentés. Nous montrons l'existence d'un pergélisol marqué au Pléniglaciaire Weichsélien, son absence pendant l'essentiel du Saalien, le caractère moins froid et plus humide du Saalien par rapport au Weichsélien, la persistance d'un niveau marin élevé à 103 ka et la présence de 4 interglaciaires sur une même plate-forme littorale (stades 1, 5, 7 et 9?).

Mots-clés : datation par thermoluminescence (TL), quartz, loess, dunes littorales, paléosols, paléoenvironnements, paléoclimats.

ABSTRACT

THE NANTOIS SECTION (Saint-Brieuc Bay, France): NEW THERMOLUMINESCENCE (TL) DATINGS AND PALAEOENVIRONMENTAL DATA FOR THE PLEISTOCENE OF BRITTANY

Loess deposited during Pleistocene glacial periods can be dated by the thermoluminescence (TL) method. The age of such deposit corresponds to the bleaching of the TL signal of minerals as they are exposed to sunlight during their aeolian transport. The first results obtained on the aeolian quartz fraction by this method have allowed to date sediments as old as 100 ky (100000 years) and do confirm most of the previous stratigraphical interpretations in the Saint-Brieuc area. New palaeoenvironmental data are presented. We have shown the existence of a marked permafrost during the Pleniglacial Weichselian, its absence during most of the Saalien, the warmer and more humid conditions during the Saalien than during the last glaciation, the persistence of an high sea level at 103 ka and the existence of 4 interglacials on the same littoral platform (stages 1, 5, 7 ad 9?).

Key-words : thermoluminescence (TL) dating, quartz, loess, littoral dunes, palaeosoils, palaeoenvironments, palaeoclimates.

1 - INTRODUCTION

En Bretagne les échelles chrono-stratigraphiques sont essentiellement construites à l'aide de corrélations établies entre des séquences fragmentaires. L'étude de ces séquences stratigraphiques ainsi que celle des restes

d'occupations humaines associés ont permis de proposer des corrélations litho- ou bio-stratigraphiques. Néanmoins les données chronologiques absolues sont rares, et ceci pour diverses raisons:

- en raison de l'acidité des sols dans cette région, les ossements et autres matériaux organiques sont le plus

* Laboratoire d'Archéométrie, UMR 153 du CNRS, Université de Rennes 1, 35042 RENNES Cedex.

** Sédimentologie, Géosciences-Rennes, UPR 4661 du CNRS, 35042 RENNES Cedex.

*** Laboratoire d'Anthropologie, UMR 153 du CNRS, Université de Rennes 1, 35042 RENNES Cedex.

**** Département de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, 29285 BREST.

***** Centre des Faibles Radioactivités, Laboratoire mixte CNRS/CEA, avenue de la Terrasse, 91198 GIF-SUR-YVETTE Cedex.

souvent absents ou trop anciens. La méthode du carbone 14 est de fait rarement applicable;

- pour les mêmes raisons, la décarbonatation limite grandement l'utilisation de la Résonance Paramagnétique Electronique (RPE) et des méthodes fondées sur les déséquilibres dans les familles de l'uranium (méthodes U^{234}/Th^{230} ou U^{235}/Pa^{231});

- enfin, la datation des sites préhistoriques est possible par la TL jusqu'à la fin du Pléistocène moyen, mais nécessite l'étude de la TL de silice ou de quartz (galets ou sables) chauffés dans des foyers.

Par conséquent, dans cette région, la datation par la TL de sédiments éoliens, apparaît comme l'une des méthodes de datation les mieux adaptées. Dans notre étude, les mesures sont faites sur le quartz, un matériau abondant dont le signal TL est resté stable au cours des 500 derniers millénaires. Pour ces raisons, et afin de montrer les potentialités de cette méthode, nous l'avons appliquée à l'une des séquences les mieux préservées du Massif Armoricain: la coupe de Nantois.

Cette coupe en falaise se situe sur la côte orientale de la baie de Saint-Brieuc, à l'est de la pointe de Pléneuf (fig. 1). D'épais dépôts limoneux périglaciaires (25 m) colmatent une double dépression, au débouché de deux ruisseaux (ruisseau du Vauclair et ruisseau de Nantois) et s'appuient à l'ouest contre un pointement rocheux qui sépare les plages des Vallées et de Nantois. L'érosion marine holocène a entaillé ces dépôts en falaises permettant l'étude d'un des enregistrements stratigraphiques parmi les plus complets et les plus longs de Bretagne septentrionale, puisqu'il recouvre vraisemblablement les stades isotopiques 1 à 8. Après la première étude détaillée de la coupe de Nantois (Monnier, 1973),

de nombreux travaux complémentaires ont été menés, en vue notamment de définir la stratigraphie de Nantois (Monnier et Van Vliet-Lanoë, 1986; Monnier *et al.*, 1986).

La côte nord de la Bretagne présente un développement important des limons correspondant à la seconde moitié du Pléistocène moyen et au Pléistocène supérieur. Après différentes études (Monnier, 1973, 1980; Monnier et Van Vliet-Lanoë, 1986; Monnier *et al.*, 1986), quatre formations ont été définies (Monnier et Bigot, 1987; Bigot et Monnier, 1987) sur la côte est de la baie de Saint-Brieuc, dans la région de Pléneuf-Val-André (fig. 2).

La «*Formation de Nantois*» (fig. 2) correspond aux niveaux inférieurs de la coupe de Nantois (unité B). Elle comprend des dépôts épais, à fort bilan sédimentaire (couches d'éboulis cryoclastiques, limons sablo-argileux, loess à grosses concrétions carbonatées). Des intercalations de sables d'origine littorale, ainsi que la présence d'horizons de sols anciens, constituent autant de niveaux repères. Cette formation correspond apparemment aux 2 cycles glaciaires/interglaciaires antérieures au Dernier Glaciaire (stades isotopiques 6 à 8 ou 9).

La «*Formation de La Haute-Ville*» (fig. 2) (unité C), au contraire, est caractérisée par un faible bilan sédimentaire, c'est-à-dire que les érosions et les horizons pédologiques tiennent une place dominante vis à vis des apports limoneux. Elle témoigne d'une dynamique interglaciaire complexe et peut être approximativement mise en rapport avec le stade isotopique 5. Elle comprend des cordons littoraux (galets et/ou sables), des couches de limons et de blocailles soliflués ou colluviés

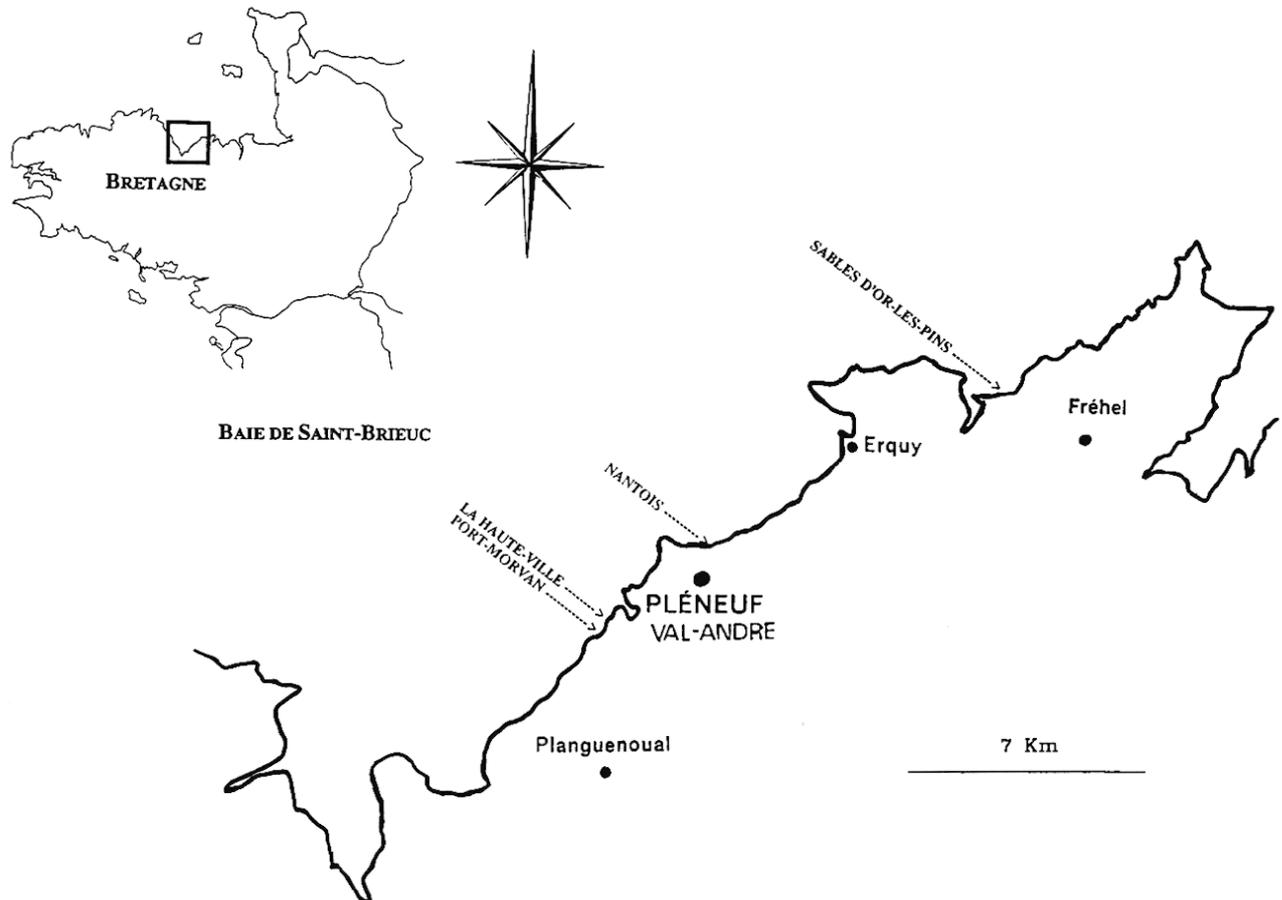


Fig. 1: Carte de localisation de la coupe de Nantois.
Fig. 1: Location map of the Nantois section.

et des paléosols.

La «*Formation de Port-Morvan*» (fig. 2) (unités D1 à D3) correspond approximativement au stade 4 et à la première moitié du stade 3. Elle comprend des colluvions, des sables plus ou moins limoneux et carbonatés et, au sommet, des limons feuilletés. Des petits sols humifères s'intercalent dans les limons sableux. Le dernier de ces paléosols (sol brun calcique) est très marqué et constitue un horizon repère important, «sol interpléniglaciaire» (Van Vliet-Lanoë, 1990a).

La «*Formation de Sable-d'Or-les-Pins*» (fig. 2) (unité D4) représente le Pléniglaciaire supérieur à sédimentation loessique dominante, c'est-à-dire qu'elle correspond en gros, selon les courbes isotopiques, à la seconde moitié du stade 3 et au stade 2. Cette formation comprend essentiellement des loess, alternant d'abord avec de nombreux lits sableux ruisselés, puis de plus en plus fins et massifs vers le haut. Les couches sont parfois séparées par des glaciés d'érosion. Les paléosols y sont rares et très peu développés. L'empreinte du gel et des phénomènes périglaciaires est souvent très forte.

2 - DESCRIPTION, PALEOENVIRONNEMENTS ET CHRONOSTRATIGRAPHIE DE LA COUPE DE NANTOIS (fig. 3)

2.1 - LA FORMATION DE NANTOIS

- La séquence inférieure B1-B4

Une série d'éboulis secs cryoclastiques (B1) fige une entaille de la falaise (A). Les derniers épisodes incorporent la dune la plus ancienne, décarbonatée (B1b). Elle est constituée par un sable bien classé (médiane 220 μm) et moyennement émoussé (il s'agit d'une couche fluée). Latéralement, immédiatement à l'Ouest de la pointe, elle incorpore un petit sol humique de type ranker.

Un sable carbonaté (B2) fin (médiane 88 μm) et bien classé constitue la base de la séquence; il s'agit d'un matériel d'origine marine (14 % de grains émoussés-luisants et de nombreux débris coquilliers et foraminifères) repris par le vent à partir d'un estran exondé comme le montre la corrosion des grains calcaires et la présence de nodules de glandes salivaires de vers (*Dendrobena sp.*), puis solifluée (inclusion de paillettes de schistes et pollution limoneuse). Il ne s'agit pas d'un matériel de dune ou d'estrans en place.

Le pédocomplexe inférieur se développe (B3), sur un head, des sables limoneux stratifiés, et dans la dune fluée qu'il décarbonate. Il s'agit d'un sol brun lessivé caractérisé par une illuviation argileuse fine, brun jaune et stratifiée. Seuls les horizons inférieurs sont conservés. Ce sol est tronqué par un head limono-caillouteux affecté lui-même par un petit sol brun à tendance lessivée; il présente une structure polyédrique subangulaire moyenne avec de fins revêtements argilo-humiques. Ce second sol passe vers le haut à un head plus grossier, à matrice limoneuse légèrement humique et gélifluée remaniant les horizons inférieurs; il s'agit vraisemblablement d'un sol gris forestier.

Deux niveaux limoneux humifères flués (B4a & B4b) sont ensuite intercalés entre ce pédocomplexe et la base des loess anciens (B5). Le niveau humifère supérieur B4b inclut quelques fragments osseux (emplacement fig. 2 et 3) dont une attache d'omoplate d'aurochs qui a été déterminée par P. Auguste à l'Institut de Paléontologie Humaine, Paris. Nous n'avons pas établi de lien avec le site de dépeçage qui a été corrélé avec les unités B3 (Monnier, 1986).

- Les loess anciens (B5)

Ce sont des loess bien classés (médiane 35 μm), légèrement sableux, carbonatés (12,5 %), stratifiés, avec quelques évidences de ruissellement et de grosses concrétions carbonatées («poupées de loess») associées au pédocomplexe de la Haute Ville. Ces loess remanient des foraminifères, des coccolites (en provenance de la craie) et des débris de coquilles. La fraction sableuse est constituée par un mélange de sable émoussé remanié des estrans, de quartz anguleux et de micas provenant des formations de versants. Tous les grains sont affectés par un revêtement argileux hérité de vasière littorale ou lacustre. La fin de la séquence est interstratifiée de heads fins attestant une reprise de la solifluxion dans des conditions nettement plus humides et se termine par une petite stabilisation marquée par une pédogenèse illuviale de type limon à doublets (B5d). Cette pédogenèse est tronquée par une reprise de la solifluxion.

La Formation de Nantois consiste donc en un cycle interglaciaire/glaciaire complet, incluant les évidences de plusieurs épisodes tempérés et boréaux de rang équivalent à plusieurs gros interstades ou à un complexe interglaciaire frais où le niveau de la mer était proche de l'actuel et le paysage vraisemblablement forestier. Par contre, les matériaux carbonatés constituant les loess et sables limoneux éoliens ne peuvent provenir que des fonds de la Manche en général, et de la baie de Saint-Brieuc en particulier, ce qui suppose un contexte glaciaire soumis à la déflation éolienne en période d'eustatisme négatif et de paysage ouvert (tundra). Les faciès lités témoignent d'un contexte nettement plus humide que ce que nous verrons pour la Formation de la Haute-Ville. Il n'y a pas d'évidence flagrante d'un pergélisol continu dans cette partie de la coupe. Le paléosol à doublets illuviaux atteste d'une amélioration climatique importante à la fin de cette glaciation.

2.2 - LE PEDOCOMPLEXE INTERGLACIAIRE MEDIAN (C1-C2): Formation de La Haute-Ville

Le début de cette pédogenèse C1a s'est formé à partir d'un head limoneux remaniant le sommet du loess ancien, ceci après la formation de la pédogenèse à doublets. Il s'agit de l'horizon B3t d'un sol lessivé. Il est caractérisé par une couleur brun jaune, une structure polyédrique angulaire moyenne très bien développée et des revêtements argileux; il est marqué par une petite hydromorphie finale caractérisée par des taches et des revêtements ferrugineux de pores.

Un second épisode de pédogenèse s'est développé sur le pédocomplexe, latéralement par rapport aux sables rouges de la couche (C2b) dans un matériel apparemment dérivé des horizons précédents. A nouveau, il s'agit d'un horizon B3t à revêtements argileux, épais et déferrifiés. Il correspond à un sol lessivé glossique (C1b), à structure polyédrique angulaire très fine et bien développée. La phase hydromorphe finale se raccorde latéralement, sous la couche sableuse, à un sol à gley surmonté par un niveau argilo-humique noir (C1c) (gyttja de décantation incorporant quelques charbons de bois) voire à une véritable vase organique partiellement algaire. Il n'y a pas de traces de diatomées. Ce sol glossique très complexe est caractérisé par l'apparition de smectites au niveau de la fraction argileuse, dont l'origine peut être soit un apport éolien littoral (non confirmé par la présence de sables) ou une néosynthèse liée au développement de l'hydromorphie (Righi et Meunier, 1991), probablement contemporaine de l'éta-

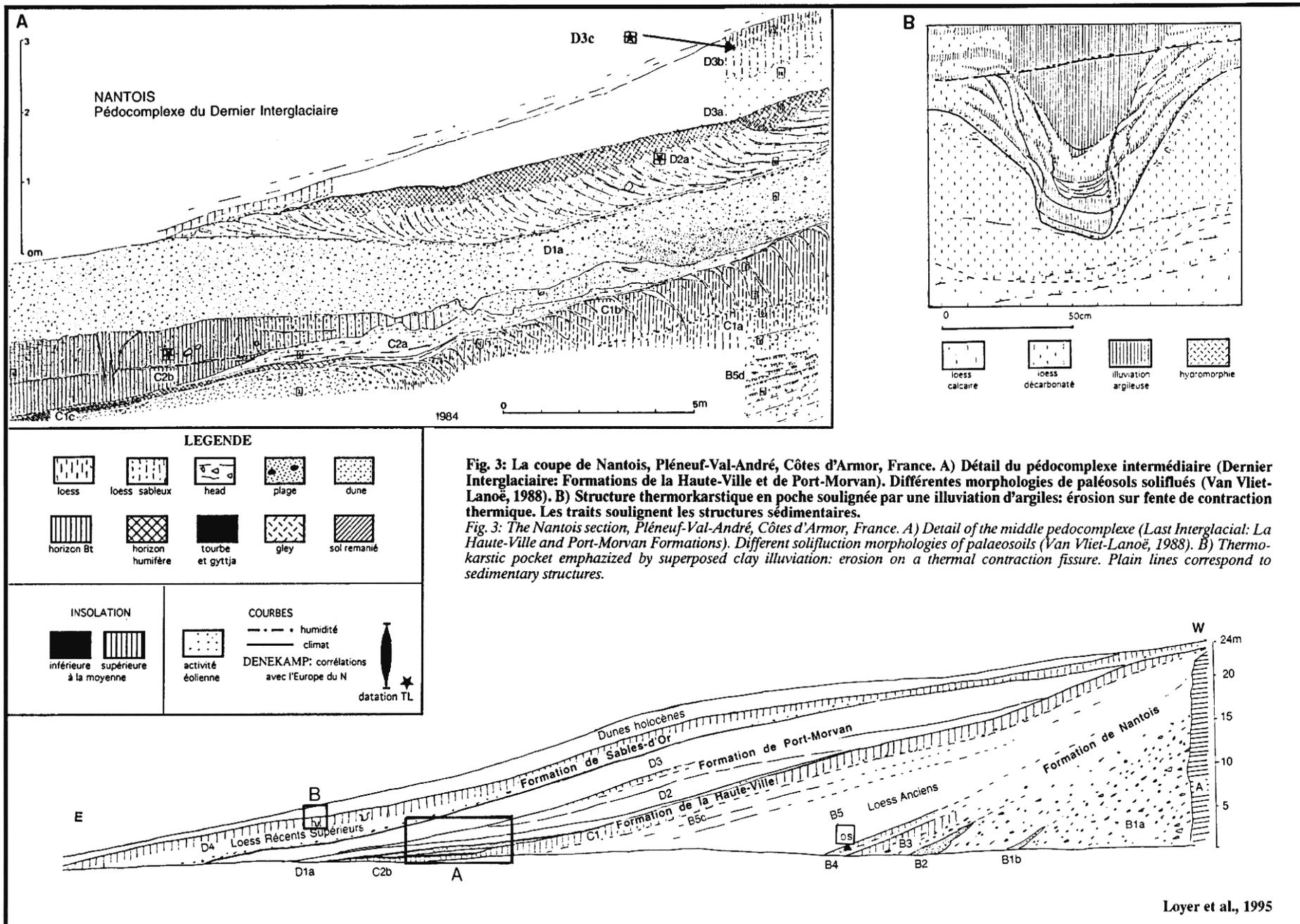


Fig. 3: La coupe de Nantois, Pléneuf-Val-André, Côtes d'Armor, France. A) Détail du pédocomplexe intermédiaire (Dernier Interglaciaire: Formations de la Haute-Ville et de Port-Morvan). Différentes morphologies de paléosols soliflués (Van Vliet-Lanoë, 1988). B) Structure thermokarstique en poche soulignée par une illuviation d'argiles: érosion sur fente de contraction thermique. Les traits soulignent les structures sédimentaires.
Fig. 3: The Nantois section, Pléneuf-Val-André, Côtes d'Armor, France. A) Detail of the middle pedocomplex (Last Interglacial: La Haute-Ville and Port-Morvan Formations). Different solifluction morphologies of palaeosols (Van Vliet-Lanoë, 1988). B) Thermokarstic pocket emphasized by superposed clay illuviation: erosion on a thermal contraction fissure. Plain lines correspond to sedimentary structures.

blissement d'un marais, derrière un cordon littoral, le niveau de la mer étant un peu plus bas que l'actuel. Vers le haut, le reste du profil est très rapidement perturbé et fauché par la cryoreptation.

Un head mince (C2a) incorporant environ 1 % de sable marin (saupoudrage éolien ou ruissellement à partir des couches plus anciennes préservées en amont) et manifestement soliflué (structure granulaire modérée avec coiffes) scelle la séquence avant d'être tronqué par un glaciais d'érosion, retouché par solifluxion, sur lequel repose l'unité sableuse suivante (C2b). Il s'agit d'un sable éolien non stratifié, dunaire ou littoral flué à la base puis pédogénisé. Le sol C2c est bioturbé et très illuvié d'argiles rouges en raison de sa position topographique et de la nature minéralogique des argiles (smectite); la rubéfaction liée à la présence de goéthite sur la fraction argileuse pourrait être l'expression d'un climat à contraste hydrique saisonnier marqué (continentalisation). Latéralement, cette pédogenèse affecte le sol glossique fauché inférieur par une infiltration argilo-humique héritée d'un sol gris forestier, ce qui confirme le caractère physiologique «sec» du sol sur sable. Il est localement recarbonaté à partir des unités supérieures et flué à son sommet.

La Formation de la Haute-Ville traduit donc la formation d'un pédocomplexe interglaciaire à une époque où le niveau de la mer était voisin de l'actuel, voire légèrement au-dessus (plages à la Haute-Ville). Deux phases froides, suivies de deux périodes tempérées C1b et C2c, se sont ensuite succédées. Sur la côte nord de la Bretagne, ce sont les dépôts correspondant à la Formation de la Haute-Ville qui ont livré le plus grand nombre de traces d'occupation humaine, ce qui s'explique aisément par les conditions paléoclimatiques et paléogéographiques.

2.3 - LA BASE DE LA SEQUENCE WEICHSELIENNE (D1 A D3): Formation de Port-Morvan

Il s'agit, de bas en haut:

- sables limono-graveleux de «l'Événement de Nantois» (Monnier et Van Vliet-Lanoë, 1986) (D1a), remaniant de nombreuses concrétions ferrugineuses ou graviers ferruginisés hérités du substrat et des sols antérieurs; il s'agit de coulées boueuses, remaniées secondairement par cryoreptation (gel saisonnier). A la base se remarque une certaine hydromorphie, ainsi que des fentes de gel qui se prolongent dans le sable argileux sous-jacent;

- des sables limoneux carbonatés et bioturbés à coquilles de mollusques terrestres (D2a à D2c) (*Trichia hispida*, *Vallonia pulchella*, *Vallonia costata*, *Pupilla muscorum*; analyses malacologique: M.A. Maury in Monnier, 1973 et Abbé J.J. Puisségur in Monnier, 1980), avec au sommet un petit sol humifère (sol de prairie arctique cumulatif à mull calcaire et traces de racines), déformé par cryoreptation syngénétique (solifluxion en cuillère sur la figure 3A) caractéristique d'un milieu de combe à neige asséché en fin d'été.

- des limons sableux calcaires D3a, altérés à leur sommet par un horizon Bt appartenant à un sol brun calcique géliflué, caractérisé par une décarbonatation importante et par de faibles revêtements argileux (D3b ou D3d);

- d'épais limons sableux feuilletés et cailloutis lités ou soliflués, dérivés du sol précédant et associés à des traces de ségrégation de glace caractéristiques de l'installation d'un pergélisol local riche en glace (D3c).

L'étude des coquilles de mollusques terrestres avait

déjà bien mis en évidence, de bas en haut de la Formation de Port-Morvan, l'accentuation du froid et de la sécheresse, par phases successives entrecoupées de rémissions plus ou moins longues. Ceci est corroboré par la fréquence des petits sols humifères (1 seul à Nantois) témoignant de courtes phases de stabilisation climatique dans un environnement certainement très ouvert occupé par une végétation herbacée. L'ensemble de la Formation de Port-Morvan traduit donc la mise en place de conditions de plus en plus rigoureuses (pléniglaciaires inférieur et moyen). Le domaine littoral ne se traduit plus que par des éléments (grains de sable, coquilles) remaniés dans les sédiments apportés par le vent. On assiste donc à une accentuation de la régression marine, en même temps qu'à l'installation de conditions véritablement loessiques (apparition de la chlorite).

2.4 - LE SOMMET DE LA SEQUENCE WEICHSELIENNE (D4): Formation de Sables-d'Or-les-Pins

- Les loess récents (D4a et D4b)

Ce sont des loess à lits sableux surmontés des loess homogènes. Ils sont carbonatés (16 %) et très bien classés (médiane 33.5 μm). Ils incorporent des foraminifères, des débris coquilliers corrodés et sont très voisins des faciès des loess anciens de la formation de Nantois. Les derniers dépôts possèdent une teneur en micas un peu plus élevée et des débris organiques (traces de feuilles et croûte cryptogamique) attestant un contexte final arctique (Van Vliet-Lanoë, 1992).

- Les poches et les sables fins terminaux

Les sables fins terminaux (D4c) ne sont pas ou plus carbonatés. Ils présentent une granulométrie typiquement éolienne (médiane entre 50 et 60 μm). Leur cortège minéralogique les rattache au contexte loessique (association hornblende-épidote-grenat). Cet apport sableux éolien à la fin du dépôt des loess typiques témoigne d'une reprise de la dynamique fluviale liée à l'augmentation des précipitations et à une déflation de fin d'été (Pissart, 1966). Ils sont affectés par un petit sol de tundra hydromorphe, assez voisin des faciès observés à Sables-d'Or-les-Pins, et antérieur au développement des formes en poches. De tels sols s'observent à l'heure actuelle en milieu loessique actif de l'Advental (Spitzberg, température moyenne annuelle -7°C et précipitation moyenne annuelle 250 mm).

Les poches (fig. 3B) sont calquées sur des structures localisées sous un glaciais d'érosion généralisée, vraisemblablement fini-Pléniglaciaire. Il s'agit de structures thermokarstiques à petits coins de glace ou de fentes de contraction thermique retouchées par ruissellement et comblées par des colluvions de loess et de sable fin (Van Vliet-Lanoë, Allard et Payette en préparation). La pédogenèse superficielle, caractérisée par un horizon argillique à illuviation en bandes (D4d), est développée dans le matériel recouvrant le glaciais identique à celui qui colmate les poches; l'illuviation en bandes est localement perturbée par les structures préexistantes et en accentue les traits; il ne s'agit pas de poche de décarbonatation; cette pédogenèse passe en bas de versant à un sol lessivé hydromorphe à fragipan, caractéristique de l'Interstade Bölling-Alleröd (Van Vliet-Lanoë, 1988; Van Vliet-Lanoë *et al.*, 1992) souvent enfoui par le cordon de tempête.

La formation de Sables-d'Or-les-Pins témoigne donc

d'un abaissement considérable du niveau de la mer permettant l'assèchement de grandes étendues en Manche, propices à la déflation éolienne. La pauvreté de la faune malacologique confirme la rigueur du climat. Le loess le plus récent s'est étendu sur l'arrière pays où il est conservé sous la forme de placages très morcelés (Monnier, 1973). Un apport limoneux par des vents venant du nord a été confirmé (Bigot, 1986). La courbe climatique correspondant à la Formation de Sables-d'Or-les-Pins repose sur l'interprétation des traces des pédogenèses, des cryoturbations et de la granulométrie des loess. La tendance est au climat arctique continental entrecoupé par une phase d'adoucissement relatif (Monnier et Van Vliet-Lanoë, 1986). La présence d'horizons gleyifiés observés à Nantois et surtout à Sables-d'Or-les-Pins témoigne d'un paysage de toundra herbacée avec congères en exposition Nord et/ou Est. Trois ruptures climatiques importantes séparent quatre unités sédimentaires loessiques (Bigot & Monnier, 1987) avant l'amélioration du Tardiglaciaire, la pédogenèse et les phénomènes thermokarstiques qui y sont associés.

3 - DATATIONS PAR THERMOLUMINESCENCE (TL)

3.1 - PRINCIPE DE LA DATATION DES SÉDIMENTS ÉOLIENS PAR LA TL

La thermoluminescence est l'émission lumineuse provoquée par le chauffage d'un minéral préalablement irradié par la radioactivité naturelle. Dans les cristaux existent des défauts structuraux et des impuretés de substitution agissant comme des «pièges à électrons». Sous l'effet des rayonnements ionisants (particules α et β , photons γ) émis par le potassium et par les éléments des familles de l'uranium et du thorium, ces pièges accumulent une quantité d'énergie appelée dose (en Gy) avec une vitesse de remplissage appelée débit de dose (Da) exprimée en Gy/ka (1 ka = 1000 ans). L'irradiation par les photons cosmiques produit un effet similaire. Da est calculée à partir des concentrations en radioéléments mesurées sur le sédiment.

Lors du transport éolien des minéraux, le soleil active une partie des électrons localisés dans les pièges photosensibles. Cette photo-stimulation prolongée («blanchiment») vide partiellement les pièges. Lorsqu'elle cesse, pour cause d'enfouissement, les pièges précédemment vidés se peuplent à nouveau sous l'effet de la radioactivité environnante. Au laboratoire, les pièges sont à nouveau vidés par chauffage des minéraux jusqu'à 500°C. La TL émise est proportionnelle à la dose emmagasinée dans les minéraux entre les instants du blanchiment et de la mesure. Au moyen de sources radioactives artificielles de débit de dose connu, ce signal TL est calibré en une «dose équivalente De» (en Gy). L'âge TL du sédiment s'exprime par le rapport De/Da et correspond au temps écoulé depuis la dernière exposition au rayonnement solaire des minéraux datés. Il s'exprime en ka avant la date de la mesure. Afin d'éviter les surestimations d'âge TL, des expériences de laboratoire permettent de vérifier si le sédiment a été blanchi totalement dans le passé.

3.2 - ÉCHANTILLONS DATES

Quatre échantillons ont été datés (fig. 2 & 3). Leur cote est donnée par rapport au sommet de la coupe:

- couche D4 (-2 m): loess de couverture, lité, Weichsélien (Pléniglaciaire supérieur);

- couche D3c (-5.5 m): limons feuilletés intermédiaires, Weichsélien (Pléniglaciaire inférieur);
- couche D2a (-8 m): sable limoneux carbonaté à mollusques, Weichsélien (Proglaciaire);
- couche C2b (-10 m): dune littorale oxydée, Eemien final (Proglaciaire Weichsélien).

3.3 - METHODE UTILISEE

- Préparation des échantillons

Des échantillons parallélépipédiques (17x10x6 cm; masse comprise entre 800 et 1200 g) ont été découpés, puis enfichés dans des boîtes en carton afin d'éviter l'émiettement. Cette méthode permet d'éliminer au laboratoire les surfaces qui ont vu le jour. Transportés dans des sacs noirs, les échantillons ont ensuite été traités en lumière rouge. Cette longueur d'onde est la moins énergétique du spectre visible, ce qui limite tout blanchiment parasite au laboratoire (Carriveau, 1979).

La méthode de la TL permet de dater les minéraux transportés par le vent, qui sont donc séparés de ceux apportés par d'autres phénomènes tels que les dépôts de pente. L'exploitation des données granulométriques nous a permis de sélectionner la taille des grains qui ont connu un transport éolien et qui ont donc été blanchis lors du dépôt. Pour les couches D4 et C2b, les courbes granulométriques sont des sigmoïdes très relevées (fig. 4a), ce qui signifie que l'apport éolien a été peu perturbé par des remaniements ultérieurs. Pour ces deux sédiments dits «bien classés», nous avons situé la fraction éolienne entre les inflexions basse et haute de la courbe (fig. 4a et tab. 1). En revanche, les sédiments D3c et D2a sont moins bien classés et semblent être formés par deux stocks de particules (fig. 4b). Dans le cas de D2a, la fraction utilisée pour les mesures a été choisie dans la partie la mieux classée, représentative de l'apport éolien sableux (125-160 μ m). Pour D3c, c'est la fraction (50-63 μ m) représentant l'apport éolien limoneux qui a été choisie.

Le quartz de la fraction ainsi sélectionnée a été extrait du sédiment total par décarbonatation avec HCl (33 %, 4 jours) et traitement à H₂O₂ (35 %, 12 h) pour éliminer la matière organique. La fraction est isolée par tamisage à sec. Le quartz est ensuite séparé en utilisant des liqueurs denses de polytungstate de sodium (densités successives 2.60, 2.63 et 2.67). Le feldspath plagioclase est ensuite dissout avec HF (40 %, 40 min à 1h), ce qui élimine une surface qui a été irradiée par des sources α extérieures. Nous l'estimons à 2 μ m minimum.

- Mesures de TL

Les mesures ont été faites au Centre des Faibles Radioactivités (Gif-sur-Yvette). Le signal TL a été détecté en utilisant un tube photomultiplicateur XP1230 Radiotechnique et une combinaison de filtre Densivex MTO DA 465c + atténuateur 1.08 (fenêtre de transmission intrinsèque à plus de 60 % entre 460 et 520 nm). Pour tous les échantillons, une vitesse de chauffe constante de 5°C/s a été utilisée. Chaque mesure a été réalisée en utilisant 2 ou 4 mg de quartz chauffés sous azote après évacuation de l'air du four, afin d'éviter l'oxydation qui génère de la TL parasite.

- Caractéristiques du signal TL des échantillons

Les minéraux thermoluminescents sont caractérisés

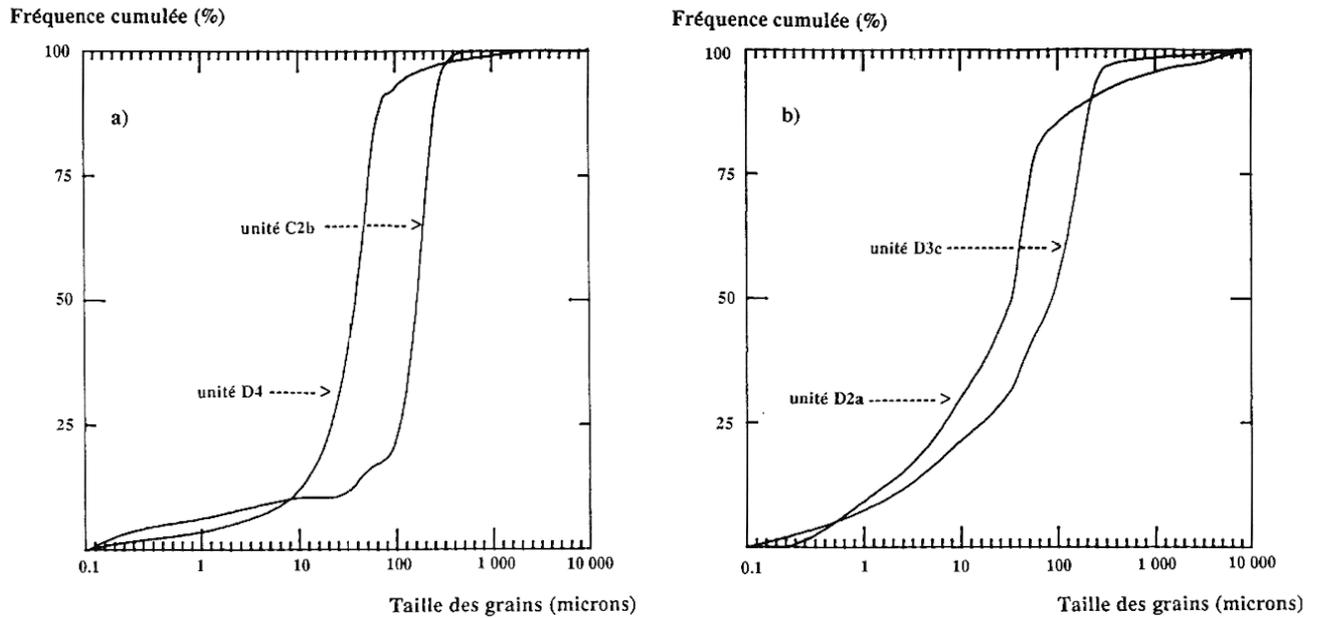


Fig. 4: Courbes granulométriques des couches datées à Nantois. a) sédiments «bien classés», constitués par un apport éolien quasi pur. b) sédiments d'origine éolienne, remaniés sur le site.

Fig. 4 Granulometric curves of the layers dated at Nantois. a) «well sorted» sediments, constituted by a quasi pure aeolian transport. b) wind generated sediments reworked locally.

par leur courbe de TL (intensité TL en fonction de la température). Il existe un pic très net à 380°C lorsque l'on effectue une préchauffe de 20 s à 250°C ou 270°C, selon les échantillons. Des mesures de TL ont été faites en fonction de la dose (fig. 5a). D'après les courbes de croissance (i.e. courbe de l'intensité du pic à 380°C en fonction de la dose γ ajoutée), on remarque que le niveau de TL naturelle approchait la saturation pour les échantillons D2a et C2b. Ceci a amené à développer la méthode de la régénération normalisée (Loyer, 1993 et en préparation). Des mesures de TL ont été faites en

fonction de la durée de blanchiment (fig. 5b), en soumettant des aliquotes de quartz naturel au soleil, sans filtre, à l'extérieur pour des durées allant jusqu'à 50 heures. Les courbes de TL naturelle et de TL résiduelle montrent que le blanchiment du quartz est rapide et important. D'après les courbes de blanchiment (i.e. TL résiduelle en fonction de la durée de blanchiment), le signal TL est d'abord réduit très rapidement, tel que 70 à 85 % du signal de TL initial est perdu au bout de 6 heures d'exposition. Après 50 heures, il ne reste plus que 8 à 23% du signal de TL initial. Ces expériences mon-

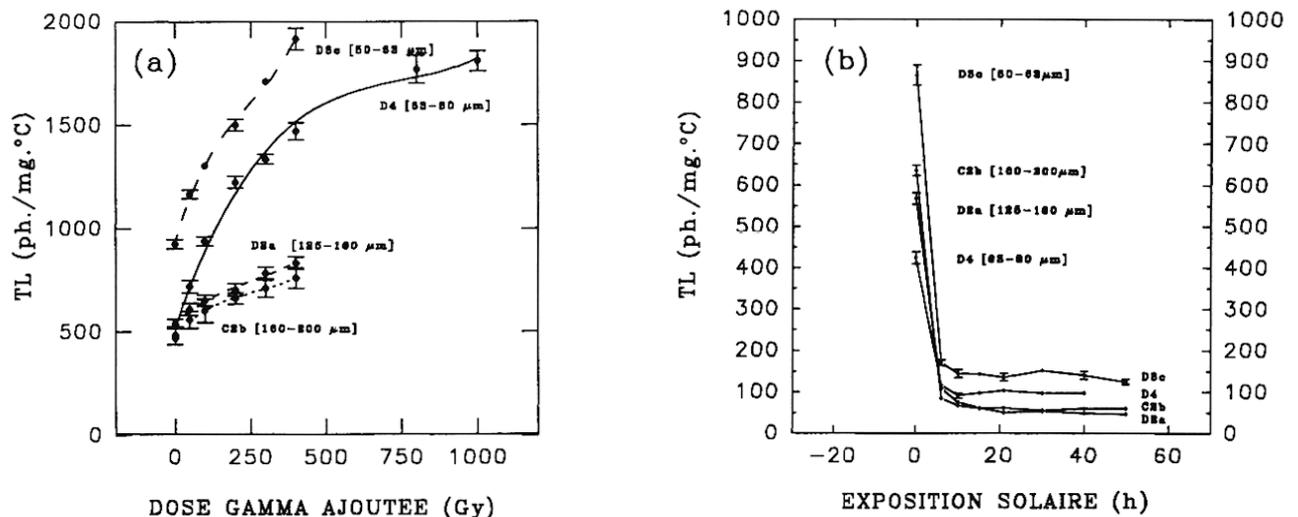


Fig. 5: Comportement du signal TL du quartz de Nantois vis-à-vis de la saturation et du blanchiment solaire. a) Courbes de croissance du signal de TL. b) Courbes de décroissance du signal de TL en fonction de la durée d'exposition solaire. Pour chaque courbe sont indiqués le numéro de la couche et la taille de grain utilisée pour les mesures; le signal de TL est intégré sur (365-390°C); filter MTO DA 465c + 1.08 attenuator; aucune préchauffe pour les courbes b); N: signal de TL naturelle; autres courbes : signal TL après un blanchiment compris entre 6 et 50h.

Fig. 5: TL sunlight bleach and saturation behaviour of quartz from Nantois. a) Growth curve of the TL signal. b) Decay curves of the TL signal as a function of solar exposure. For each curve are indicated the layer number and the grain size used for TL measurements; the TL signal is integrated on (365-390°C); MTO DA 465c filter + 1.08 attenuator; no preheat for curves b); N: Natural TL signal; other curves: TL signal after exposures between 6 and 50 h.

trent que le signal de TL du quartz des sédiments de Nantois est facilement blanchi et qu'ils ont donc été bien blanchis au moment du dépôt (voir aussi Loyer en préparation).

- Détermination de la dose équivalente De

Pour la couche D3c, De a été déterminée par la méthode du blanchiment total proposée par Singhvi et ses collaborateurs (1982). La procédure utilisée est illustrée par les figures 6 A & B. Des aliquotes du même échantillon naturel (non irradié) de quartz reçoivent des doses artificielles γ croissantes au laboratoire en utilisant un irradiateur contenant six sources de Cs^{137} (Valladas, 1979; débit de dose γ 100 Gy/h). Des courbes représentatives du signal TL mesuré sont reportées sur la figure 6A. L'intensité du pic de TL à 380°C est tracée en fonction de la dose γ et un polynôme de degré 2 est ensuite ajusté aux points expérimentaux (fig. 6B courbe (1)). D'autres aliquotes du même échantillon naturel de quartz sont exposés au soleil pendant 50 heures au total. Le signal de TL résiduelle mesuré est considéré comme représentant la TL résiduelle qui existait au moment du dépôt du sédiment (Loyer en préparation). Ce niveau est représenté par la courbe (2) sur la figure 6B. L'intersection des courbes (1) et (2) (fig. 6B) fournit De.

Pour les échantillons D4, D2a et C2b, les courbes de croissance primaire et régénérée (fig. 7a. courbes (1) et (3), dans le cas de C2b) étaient proportionnelles sur la gamme de dose 0-250 Gy à 0-400 Gy. La dose équivalente a été déterminée par la «régénération normalisée». Cette méthode a été développée, à partir de celle proposée par Mercier *et al.* (1992), pour dater des quartz éoliens, y compris ceux dont le signal TL est partiellement saturé (Loyer, 1993 et en préparation). La courbe primaire est établie comme dans la méthode du blanchiment total. Des aliquotes du même échantillon

naturel de quartz, blanchis au soleil pendant 50 heures, reçoivent des doses artificielles γ croissantes. L'ajustement de polynômes de degré 3 sur ces points expérimentaux fournit les courbes (1) et (3) (fig. 7a). Le polynôme (3) est translaté parallèlement à l'axe des abscisses d'une dose telle que les polynômes (1) et (3) soient proportionnels (fig. 7a). On calcule ensuite point par point le rapport $R_i = [\text{polynôme (1)} / \text{polynôme (3)}] \times \text{dose } \gamma \text{ ajoutée}$. L'extrapolation à l'origine de la courbe obtenue fournit De et son erreur à un écart-type (fig. 7b). De a ainsi été obtenue pour la région de la courbe de TL (360-400°C), avec une précision comprise entre 3 et 8%. Les échantillons ont été préchauffés 20 s à 250°C (couche D4 et D2a) ou à 270°C (couche C2b) et mesurés 18.5 mois après irradiation.

- Evaluation des débits de dose

Les débits de dose dus aux rayonnements α et β (tab. 1) ont été calculés à partir des teneurs en U, Th et K mesurées par Couplage de Plasma Inductif (ICP) et par Absorption Atomique (C.R.P.G., Nancy). Ils ont été corrigés pour tenir compte de l'atténuation des rayonnements α et β en fonction de la taille des grains de quartz (Bell, 1980; Mejdahl, 1979) et en fonction de la teneur en eau (Zimmerman, 1971). Les doses annuelles spécifiques utilisées sont celles de Bell (1979). Aucune expérience n'a été faite pour déterminer le facteur d'efficacité α ; le traitement à l'acide fluorhydrique utilisé pendant la préparation ayant éliminé au moins $2\mu\text{m}$, ce facteur a été pris égal à 0.05. Les débits de dose annuels dus aux rayonnements γ et cosmique (tab. 1) ont été mesurés à l'aide de dosimètres au sulfate de calcium (Valladas, 1982) enfouis pendant dix mois dans les couches étudiées, au voisinage des lieux de prélèvement. En tenant compte des données de Prescott et Stephan (1982), un débit de dose cosmique de 0.16 Gy/

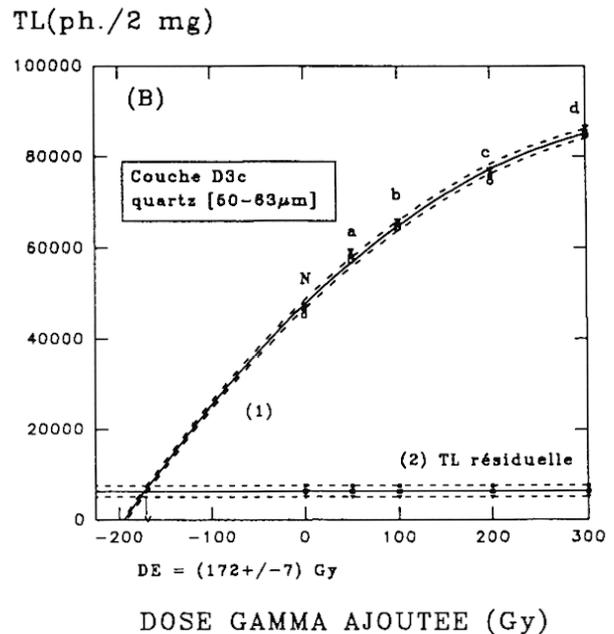
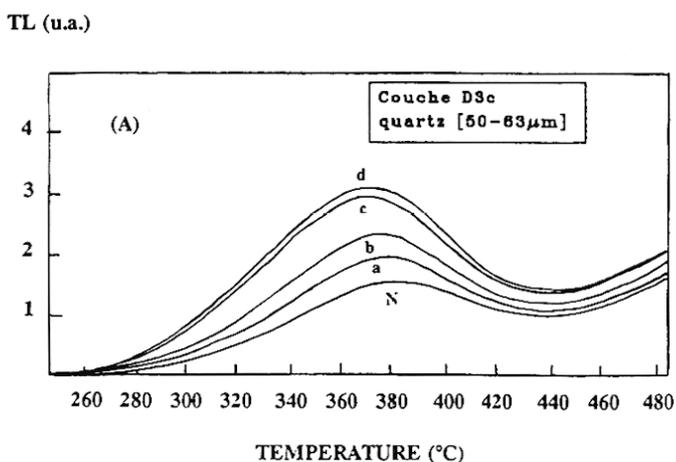


Fig. 6: Mesure de dose équivalente De par la méthode du blanchiment total (couche D3c). A) Courbes de TL représentatives du quartz extrait de limons feuilletés weichséliens; N: signal de TL naturel (échantillons non irradiés); a, b, c et d: signaux TL d'échantillons similaires ayant reçu des doses gamma supplémentaires au laboratoire (50, 100, 200 et 300 Gy); les échantillons ont été préchauffés 20 s à 270°C avant les mesures de TL qui ont été faites 18.5 mois après l'irradiation. B) Courbe (1): courbe de croissance du pic à 380°C (intégration sur 365-390°C); courbe (2): niveau de TL résiduelle mesuré après une exposition solaire de 50 h; l'intersection des courbes (1) et (2) fournit De.

Fig. 6: Equivalent dose ED measurements by the total bleach method (layer D3c). A) Representative TL curves of quartz from weichselian laminated silt; N: natural TL signal (non irradiated samples); a, b, c and d: TL signals of similar samples irradiated in the laboratory with additional gamma doses (50, 100, 200 and 300 Gy); samples have been preheated 20 s at 270°C before measurements which have been made 18.5 months after irradiation. B) Curve (1): growth curve of the 380°C peak (integration on 365-390°C); curve (2): TL level measured after a 50 h sunlight exposure; the intersection of curves (1) and (2) leads to ED.

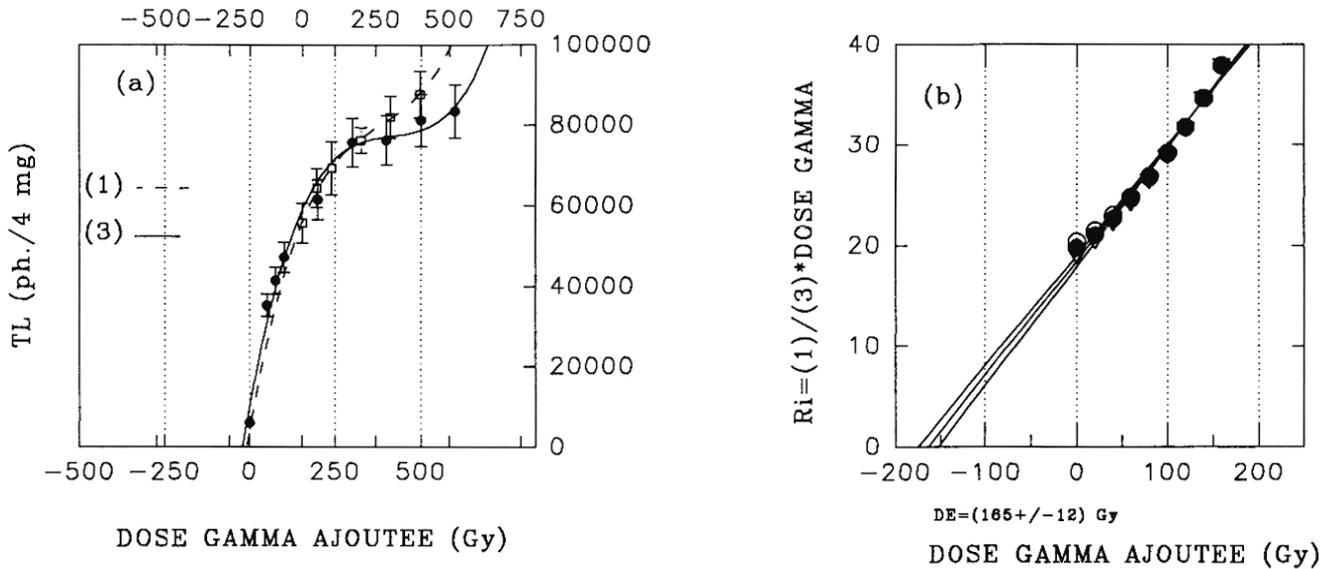


Fig. 7: Mesure de dose équivalente D_e par la méthode de la régénération normalisée (couche C2b). a) La courbe (1) est tracée comme dans le cas de la figure 6B. Des aliquotes d'échantillons naturels sont exposés au soleil pendant 50 h puis irradiés à des doses gamma croissantes (50, 75, 100, 200, 300, 400, 500 et 600 Gy) afin de tracer la courbe (3); des polynômes de degré trois sont ajustés sur les points expérimentaux; le polynôme ajusté sur la courbe (3) est translaté parallèlement à l'axe des abscisses jusqu'à ce que l'on ait proportionnalité entre les polynômes (1) et (3). b) Sur la gamme de dose gamma de 0-200 Gy où existe la proportionnalité, on calcule point par point la valeur de R_i ; l'extrapolation à l'origine fournit D_e . D_e a été obtenue sur l'intervalle 365-390°C. Cinq mesures par point permettent de définir les courbes enveloppes dont les intersections fournissent une erreur de 7.6% à un écart-type.

Fig. 7: Equivalent dose ED measurements by the normalised regeneration method (layer C2b). a) Curve (1) is obtained in the same way as in the fig. 6B. Aliquots of natural samples are exposed to sunlight during 50 h and irradiated with increasing gamma doses (50, 75, 100, 200, 300, 400, 500 and 600 Gy) to obtain the curve (3); third degree polynomials are then fitted to the experimental points; the polynomial adjusted on curve (3) is translated among the abscissa axis until the polynomials (1) and (3) are proportional. b) On the gamma dose area 0 to 200 Gy where the proportionality does exist, the R_i factor is calculated point by point; extrapolation to the origine leads to ED . ED values have been obtained on the 365-390°C interval. Five measurements per point allowed to define min and max curves; their intercept with the dose axis gave a 7.6% standard error.

ka a été utilisé pour les 4 échantillons qui se trouvaient tous à plus de 2 mètres de profondeur. Les teneurs moyennes en eau des sédiments datés ont été évaluées, pour les 100 derniers ka, à partir des teneurs actuelles mesurées sur le site qui varient de 4 à 10 %. Une variation de 1.6 à 4% sur ces 4 à 10 % a été incluse dans les calculs afin de tenir compte de possibles erreurs d'évaluation. Cette incertitude sur la teneur moyenne en eau affecte surtout les débits de dose γ .

4 - DISCUSSION (fig. 2 et tab. 1)

Les débits de dose totale sont compris entre 1.60 et 3.17 Gy/ka et les doses équivalentes entre 57.6 et 172.5 Gy, ce qui aboutit à des âges TL compris entre 18 et 103 ka. Il apparaît avant tout que les âges TL sont classés dans l'ordre stratigraphique :

couche D4	:	18.2	\pm	2.5	ka
couche D3c	:	67.1	\pm	10.5	ka
couche D2a	:	82.9	\pm	13.4	ka
couche C2b	:	103.3	\pm	17.3	ka

Selon ces résultats, la couche D4 se serait mise en place au Pléniglaciaire supérieur, après la période d'extension maximale des inlandis.

L'âge TL de la couche D3c se place parfaitement dans la marge chronologique habituellement attribuée au stade 4 (Woillard et Mook, 1982). S'agissant d'un dépôt flué, la datation porte sur le sédiment primaire, c'est-à-dire sur la partie supérieure des limons sableux. Dans d'autres sites loessiques comparables, deux sols humifères de prairie arctique à sub-arctique sont généralement observés (Van Vliet-Lanoë, 1990b) et mis en corrélation avec les interstades de Glinde et Oerel (Behre et Lade, 1986) ou Ognon II et III de la Grande Pile

(Woillard et Mook, 1982). Le décalage matérialisé par une flèche sur la figure 3 met en évidence l'efficacité du remaniement par la solifluxion, ce qui se traduit par un non blanchiment du signal de TL.

L'échantillon D2a correspond vraisemblablement à un apport éolien (déflation de sables et de limons littoraux) et est lié aux derniers dépôts marins sur la baie de Saint-Brieuc (stade 5 *sensu lato*). Pour l'étude TL, la sélection granulométrique effectuée vise à dater au mieux la période de dépôt de la couche. Le décalage (flèche sur la fig. 3) apparent entre l'âge TL obtenu et l'échelle chronostratigraphique actuellement admise amène à s'interroger sur l'origine réelle et la dynamique de dépôt des limons sableux carbonatés D2a.

Le sable de la couche C2b provient d'une dune remaniée par solifluxion, donc perturbée après dépôt, ce qui ne permet pas le blanchiment de la masse sédimentaire: on date donc le dépôt primaire. Pour ces deux dernières datations, la marge d'erreur importante de 13 et 17 ka est très courante pour des échantillons géologiques de cet âge. Elle ne nous permet pas de distinguer les différents sous-stades.

En utilisant le signal TL émis dans l'UV du feldspath potassique, Balescu *et al.* (1991) ont obtenu des âges TL pour des dépôts marins éémien et pré-éémien (Sangatte, Herzeele, Port-Racine et Belcroute) ainsi que pour des sables dunaires littoraux Weichsélien (Portelet, Belcroute et Nantois-couche C2b). Toutefois ces auteurs ont mis en évidence que leurs résultats se situaient systématiquement 40 % en dessous des données chronologiques alors disponibles (datations absolues et relatives, et éléments de chronologie des études stratigraphiques, pédologiques et géomorphologiques).

Couche	limons (%) (2-50 μm)	sables (%) (50-2000 μm)	Taille médiane (μm)	Fraction mesure (μm)	TLr ^(a) 50 h sol. (%)	TLr ^(a) 50 h sol. (ph./mg/°C)	Dose Equivalente (De) (Gy)
C2b	8	84	154	160-200	9%	59	165.0+12.5 @ (7.6%)
D3c	30	59	81	125-160	8%	49	155.0+10.2 @ (6%)
D2a	59	24	32	50-63	14%	124	172.5+7.5 @@ (4.3%)
D4	66	29	36	63-80	22%	112	57.6+1.8 @ (3.1%)

Couche	U (ppm)	Th (ppm)	K ₂ O (%)	Teneur en eau (%)	Débit de dose α (Gy/ka)	Débit de dose β (Gy/ka)	Débit de dose γ + cosm. (Gy/ka)	Débit de dose totale ^(b) (Gy/ka)	Ages TL ^(c) (ka)
C2b	0.62	2.63	1.45	8+3	0.013+0.001	0.97+0.15	0.61+0.09	1.60+0.24 *	103.3+17.3 (16.7%)
D3c	3.28	4.55	1.39	10+4	0.004+0.003	1.27+0.20	0.56+0.08	1.87+0.28 *	82.9+13.4 (16.2%)
D2a	2.68	6.39	1.66	10+4	0.100+0.008	1.44+0.20	1.03+0.02	2.57+0.38 **	67.1+10.5 (15.6%)
D4	2.93	4.95	1.70	4+1	0.715+0.057	1.58+0.24	0.87+0.13	3.17+0.42 *	18.2+2.5 (13.7%)

Tab. 1 : Résultats de l'étude TL, données sur la granulométrie et la radioactivité pour les sédiments étudiés sur la coupe de Nantois.

Tab. 1 : Results of the TL study, granulometric and radioactivity data of the sediments studied on the Nantois section.

⊙ Mesure par la méthode de la régénération normalisée ; ⊙⊙ Mesure par la méthode du blanchiment total.

* Mesure par dosimétrie de site avec du sulfate de calcium ; ** Doses calculées avec les dosages à cause de la perte des dosimètres posés sur le terrain.

^(a) Signal TL mesuré après une exposition au soleil de 50 heures, exprimé en % du signal initial.

^(b) Tient compte de la contribution cosmique (0.16 Gy/ka).

^(c) Les âges sont exprimés en ka avant l'année pendant laquelle ont été faites les mesures de laboratoire (ici 1993).

Les erreurs sont données à un écart-type, avec 68% de chance.

Pour la couche C2b, nous proposons un âge TL double de celui obtenu précédemment :

53 ± 6 ka (Balescu *et al.*, 1991)

103 ± 17 ka (Loyer, 1993)

Des arguments d'ordre géologique permettent aussi d'étayer la justesse de la datation que nous donnons de la couche C2b. A Nantois, le sable est manifestement dunaire et on peut donc attribuer au dépôt une position stratigraphique équivalente soit au retrait final à la fin du stade 5e, la date de 106 ka étant assez fréquemment proposée pour cette période (Shackelton, 1986; Cliquet, 1992; Meco *et al.*, 1992), soit une position ultérieure, correspondant à une dune de retrait eustatique à la fin du stade 5c. Dans le secteur voisin de Jersey, à la base de la coupe de Portelet (Keen *et al.*, 1986; 1993), dont la stratigraphie ressemble à celle de Nantois, seul le matériel sableux contemporain de la fin du stade 5c est pollué par du limon. De plus, à Nantois (C2a) un head mince sépare le sol C1 du sable dunaire. Sur un certain nombre de coupes du littoral armoricain, un retrait temporaire du niveau marin est observé, érodant parfois le sol éémien et fréquemment associé à la formation de marais littoraux (Cotentin et Léon), et suivi par une phase transgressive (Callow et Crowford, 1986; Van Vliet-Lanoë, 1988; Hallégouët et Van Vliet-Lanoë, 1989); cette phase a été attribuée à un bref refroidissement situé vers 117 ka par référence aux courbes de Shackelton (1986). Cet événement semble confirmé par l'enregistrement de Summit (GRIP, 1993) qui le placerait vers 115 ka. Cette interprétation de C2b comme une formation de retrait eustatique paraît la plus cohérente, faisant probablement suite au colmatage lagunaire puis dunaire dans la dépression amorcée avec les vases organiques de la couche C1c. La présence d'un niveau marin encore haut à 103 ka (C2b) montrerait que le refroidissement du stade 5d était déjà commencé avant la chute importante du niveau marin. L'âge TL étant doté d'une erreur de l'ordre 17 %, il est important de bien se rappeler que cette corrélation et cette discussion sont à avancer avec précautions.

La cohérence de notre résultat confirme que l'utilisation du signal TL du feldspath potassique fournit un âge minimum, de l'ordre de 50 % en dessous de l'âge réel de dépôt du sédiment. Comme l'avaient déjà dit Balescu et ses collaborateurs, l'âge de 53 ka est bien l'âge minimum de la couche C2b. Ce problème des sous-estimations d'âge TL peut être contourné en utilisant l'émission bleue du quartz et du feldspath potassique (dune de Sangatte: Balescu *et al.*, 1992) ou du feldspath potassique seul (Belcroute, Portelet, Sangatte, Herzeel: Balescu et Lamothe, 1992). Des corrections peuvent être faites afin de s'affranchir de l'anomalie d'affaiblissement du feldspath (formation marine de Herzeel: Balescu et Lamothe, 1993).

L'enregistrement paléoenvironnemental de la coupe de Nantois est exceptionnel: 2 cycles glaciaires/interglaciaires complets. Le cycle supérieur est assez classique et constitue un bon stratotype. Divers points ressortent de ce travail: - le caractère nettement plus «humide» (limon ruisselé) et plus simple de la sédimentation loessique B5 (Formation de Nantois), - l'absence de pergélisol important, - B reflète des conditions boréales, continentales plutôt que tempérées. Ces observations sont assez cohérentes avec la séquence de Biache-Saint-Vaast (Sommé *et al.*, 1988) et les enregistrements paléopédologiques allemands (Heilbronnen, excursion avec L. Zöller, 1989). En revanche, il n'est pas assuré que les éboulis de la base constituent un autre stade: à Bel-

croute (Jersey, Keen *et al.* 1986; 1993), un sable brun jaune fin identique à B1b est interstratifié dans les éboulis (stade 8) alors que dans la coupe voisine de Belcroute, un complexe sable d'estran à galets/dune non carbonatée pédogénisée est préservé dans une encoche littorale immédiatement en pied de falaise. Ceci signifie que 3 épisodes boréaux à tempérés sont enregistrés à Nantois dans les éboulis jusqu'à la base des loess anciens, et donc que l'encoche littorale à la base des éboulis qui pourrait être antérieure à cette séquence et correspondrait alors au stade 9. Ceci mettrait en évidence l'existence de 4 interglaciaires sur une même plate-forme (stades 1, 5, 7 et 9?). La campagne de datation actuellement en cours devrait permettre d'étayer ces observations. La courbe $\delta^{18}O$ d'Imbrie *et al.* (1984) montre également 3 pics «tempérés» correspondant au stade 7 et un caractère Pléniglaciaire du stade 6 moins froid que celui du stade 2. Si on compare ces données et la courbe climatique reconstruite à partir des données pédosédimentaires (Van Vliet-Lanoë, 1988) avec les variations saisonnières de l'insolation modélisées par A. Berger (1979), on constate que les fluctuations de la qualité de l'insolation pendant le stade 7 sont plus importantes que pendant le stade 5 et surtout que pendant la fin stade 2/stade 1. D'autre part, le creux très marqué de l'insolation estivale vers 140 ka explique l'installation tardive du pergélisol dans la formation de Nantois à la différence des stades 3 et 2 (Van Vliet-Lanoë, 1989).

5 - CONCLUSION

Nous avons montré que les sédiments de la baie de Saint-Brieuc sont bien blanchis et qu'il est possible de les dater jusqu'à 100 ka, en utilisant le signal TL du quartz par la technique de la régénération normalisée. Notre méthode TL offre un grand potentiel en permettant d'établir une chronologie absolue des sédiments pléistocènes. A cause de l'abondance et de la bonne conservation du quartz d'une part, et de ses propriétés de TL bien connues d'autre part, la TL appliquée au quartz éolien apparaît comme une méthode largement complémentaire aux autres. Quand cela est possible, la confrontation avec des méthodes déjà bien éprouvées permettra à la fois de faire progresser notre technique et d'améliorer la précision des datations.

Les âges TL obtenus sont cohérents avec les données géomorphologiques et ont permis de préciser la chronostratigraphie des formations de Sables-d'Or-les-Pins, de Port-Morvan et de la Haute-Ville. En baie de Saint-Brieuc, le glaciaire weichsélien et celui du stade 6 sont caractérisés par des heads et des loess, mais ne recouvrent pas les mêmes conditions paléoenvironnementales. Les résultats obtenus sont cohérents avec ce qui a pu être observé dans d'autres sites de même âge comme Biache-Saint-Vaast.

REMERCIEMENTS

S. Loyer remercie H. et G. Valladas du Centre des Faibles Radioactivités (CNRS/CEA, Gif-sur-Yvette) pour la mise à sa disposition du lecteur de TL et de la source gamma, ainsi que M. Lamothe (UQAM, Montréal) pour ses remarques sur ce manuscrit. B. Van Vliet-Lanoë remercie C. Blanchet pour la fabrication des lames minces et M.N.L. Le Coustumer pour les RX (Centre de Géomorphologie du C.N.R.S., Caen). Messieurs P. Amoureux et J.H. Clément, archéologues bénévoles, sont remerciés pour les prospections régulières effectuées dans la Baie de Saint-Brieuc, ayant permis en particulier de signaler la présence de faune.

BIBLIOGRAPHIE

- BALESCU, S. et LAMOTHE, M., 1992 - The blue emission of K-feldspar coarse grains and its potential for overcoming TL ages underestimation. *Quaternary Science Reviews*, 11, 45-51.
- BALESCU, S. et LAMOTHE, M., 1993 - Thermoluminescence dating of the holsteinian marine formation of Herzele, northern France. *Journal of Quaternary Science*, 8,(2), 117-124.
- BALESCU, S., PACKMAN, S. et WINTLE, A.G., 1991 - Chronological separation of interglacial raised beaches from northwestern Europe using thermoluminescence. *Quaternary Research*, 37, 91-102.
- BALESCU, S., PACKMAN, S., WINTLE, A.G. et GRUN, R., 1992 - Thermoluminescence dating of middle pleistocene raised beach of Sangatte (Northern France). *Quaternary Research*, 35, 390-396.
- BEHRE, K.E. et LADE, U., 1986 - Eine Folge van Eem und 4 Weichsel-Interstadialen in Oerel/Niedreschsen und ihr Vegetationsablauf. *Eiszeitalter u. Gegenwart*, 36, 11-36.
- BELL, W.T., 1979 - Thermoluminescent dating : radiation dose data. *Archaeometry*, 21, 243-245.
- BELL, W.T., 1980 - Alpha dose attenuation in quartz grains for thermoluminescence dating. *Ancient TL*, 12, 4-8.
- BERGER, A., 1979 - Insolation signature of quaternary climate changes. *Il Nuovo Cimento*, 2, (1), 63-87.
- BIGOT, B., 1986 - Essai de modélisation de l'apport loessique en Bretagne (France). *C.R. Acad. Sc. Paris*, 303, II, 10, 919-921.
- BIGOT, B. et MONNIER, J.L., 1987 - Stratigraphie et sédimentologie des loess récents du nord de la Bretagne. Données nouvelles d'après l'étude des coupes de Sables-d'Or-les-Pins et de Port-Lazo (Côtes-du-Nord, France). *Bull. Ass. française Et. Quaternaire*, 1, 27-36.
- CALLOW, P. et CROWFORD, J. M., 1986 - La Cotte St Brelade - «1961-1978 excavations». *Geobooks*, 433 p.
- CARRIVEAU, G. W., 1979 - Even more on filters for laboratory illumination. *Ancient TL*, 9, 5-6.
- CLIQUET, D., 1992 - *Le gisement paléolithique moyen de Saint Germain des Vaux/Port-Racine. Essai paléoenvironnemental*. Thèse de Doctorat, Paris I, 2t., 783 p.
- GRIP (membres de), 1993 - Climate instability during the last interglacial period recorded in the GRIP ice core. *Nature*, 364 (6434), 203-207.
- HALLEGOUET, B. et VAN VLIET LANOE, B. 1989 - Héritages glaciaires sur les côtes du Massif Armoricaïn, France. *Géol. phys. et quaternaire*, 43, 223-232.
- IMBRIE, J., HAYS, J.D., MARTINSON, D.G., MAC INTYRE, A., MIX, A.C., MORLEY, J.J., PISIAS, N.G., PRELL, W.L. et SHACKLETON, N., 1984 - The orbital theory of Pleistocene climate support from a revised chronology of the marine d 18O record. In: Berger, A. et al. (eds) *Milankovitch and climate. Part I*, 269-305. D. Riedel, Dordrecht.
- KEEN, D., LAUTRIDOU, J.P., MONNIER, J.L. et VAN VLIET-LANOE, B., 1986 - *Portelet: plage fossile et loess*. In: J.P. Lautridou, D. Keen et J.L. Monnier, In: J.P. Lautridou, D. Keen et J.L. Monnier, *Symp. Com. INQUA Loess et Commission UGI Périglaciaire, Normandie-Jersey-Bretagne, 20-27 août 1986, Loess et autres dépôts périglaciaires pléistocènes de l'Europe du Nord-Ouest; relations avec les formations marines*. Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen, 146-148.
- KEEN, D. editor et coll., 1993 - *Quaternary of Jersey*. Field Guide, Quaternary Res. Assoc., London, 162 p.
- LOYER, S., 1993 - *Thermoluminescence du quartz naturel : apports méthodologiques à la datation des sédiments éoliens et contribution à celle des argiles cuites archéologiques*. Thèse de Doctorat d'Université, mention Physique, Université de Rennes I, 212 p.
- MECO J., PETIT-MAIRE N. et REYSS J.L., 1992 - Le courant des Canaries pendant le stade isotopique 5, d'après la composition faunistique d'un haut niveau marin à Fuerteventura (28°N). *C. R. Acad. Sci. Paris*, 314, II, 203-208.
- MERCIER, N., VALLADAS, H., VALLADAS, G., 1992 - Observations on paleodose determination with burnt flints. *Ancient TL*, 10(3), 28-32.
- MEJDAHL, V., 1979 - TL dating : beta dose attenuation in quartz grains. *Archaeometry*, 21 (1), 21-26.
- MONNIER, J.L., 1973 - *Contribution à l'étude des dépôts quaternaires de la région de Saint-Brieuc; stratigraphie et sédimentologie des limons, des plages et des sols anciens*. Trav. Labo. Anthropologie, Rennes, 22, 259 p.
- MONNIER, J.L., 1980 - *Le paléolithique de la Bretagne dans son cadre géologique*. Trav. Labo. Anthropologie, Rennes, 607 p.
- MONNIER, J.L., 1986 - Le gisement paléolithique moyen de Nantois (Pléneuf, Côtes-du-Nord). *Bull. Soc. préhist. française*, 83 (5), 146-150.
- MONNIER, J.L. et BIGOT, B., 1987 - Stratigraphie des dépôts pléistocènes du nord de la Bretagne (France). Les formations de Port-Morvan et de La Haute-Ville. *Bull. Ass. française Et. Quaternaire*, 2, 93-103.
- MONNIER, J.L. et VAN VLIET-LANOE, B., 1986 - Les oscillations climatiques entre 125 000 ans et le maximum glaciaire d'après l'étude des coupes du littoral de la Baie de Saint-Brieuc. Apport de la lithologie, de la pédologie et de la malacologie. *Bull. Ass. française Et. Quaternaire*, 1/2, 119-126.
- MONNIER, J.L., VAN VLIET-LANOE, B. et BIGOT, B., 1986 - Nantois: loess saaliens, pédocomplexe émien et cycle weichsélien. In: J.P. Lautridou, D. Keen et J.L. Monnier, *Symp. Com. INQUA Loess et Commission UGI Périglaciaire, Normandie-Jersey-Bretagne, 20-27 août 1986, Loess et autres dépôts périglaciaires pléistocènes de l'Europe du Nord-Ouest; relations avec les formations marines*. Centre de Géomorphologie du CNRS, Caen, 168-178.
- PISSART, A., 1966 - Le rôle géomorphologique du vent dans la région de Mould Bay (Ile Prince Patrick - NWT Canada). *Zeitich. Geomorphologie*, N.F., 10, 226-236.
- PRESCOTT, J.R. et STEPHAN, L.G., 1982 - The contribution of cosmic radiation to environmental dose for thermoluminescence dating. Latitude, altitude and depth dependence. *P.A.C.T.*, 6, 17-25.
- RIGHI, D. et MEUNIER, A., 1991 - Characterization and genetic interpretation of clays in an acid brown soil (Dystrochrept) developed in a granitic saprolite. *Clays & Clays Minerals*, 39 (5), 519-530.
- SHACKELTON, N., 1986 - The Plio-Pleistocene Ocean : stable isotope history. *Amer. Geophys. Un.*, Geodynamic serie, 15, 141-153. Special Issue «Mesozoic and Cenozoic Oceans».
- SINGHVI, A.K., SHARMA, Y.P. et AGRAWAL, D.P., 1982 - The dating of sand dunes in Rajasthan, India. *Nature (London)*, 295, 313-315.
- SOMME, J., TUFFREAU, A., AITKEN, M., AUGUSTE, P., CHALINE, J., COLBEAUX, J.P., CUNAT, N., GEERAERTS, R., HUS, J., HUXTABLE, J., JUVIGNE, E., MUNAUT, A., OCCHIETI, S., PICHET, P., PUISSEGUR, J.J., ROUSSEAU, D.D. et VAN VLIET-LANOE, B., 1988 - Chronostratigraphie, climats et environnements IN «Le gisement paléolithique de Biaches-St-Vaast» (Pas-de-Calais), A. TUFFREAU et J. SOMME éditeurs, N° Spécial *Mémoires Soc. préhist. française*, 21, 115-119.
- VALLADAS, G., 1979 - A gamma ray irradiator. *P.A.C.T.*, 3, 439-442.
- VALLADAS, G., 1982 - Mesure de dose gamma annuelle de l'environnement d'un site archéologique par un dosimètre TL. *P.A.C.T.*, 6, 77-85.
- VAN VLIET-LANOE, B. 1988 - *Le rôle de la glace de ségrégation dans les formations superficielles de l'Europe de l'Ouest. Processus et héritages*. Thèse d'Etat, Paris I, 1987, Public. Editec, Caen, 2 tomes, 854 p.
- VAN VLIET-LANOE, B., 1989 - Dynamics and extent of the Weichselian Permafrost in Western Europe (Stages 5e to 1). *Quaternary International*, 3/4, 109-114.
- VAN VLIET-LANOE, B., 1990a - Le pédocomplexe de Warneton : où en est-on ? Bilan paléopédologique et micromorphologique. Colloque interne. In «Méthodes et concepts en Stratigraphie Quaternaire, Dijon, 5-7 Déc. 1988. *Le Quaternaire*, 1 (1), 65-76.
- VAN VLIET-LANOE, B., 1990b - The genesis of the argillic horizon in Weichselian loess of Northwestern Europe. *Quaternary International*, 5, 49-56.
- VAN VLIET-LANOE, B., 1992 - Le niveau à langues de Kesselt, horizon repère de la stratigraphie du Weichsélien supérieur européen : signification paléoenvironnementale et paléoclimatique. *Mém. Soc. géol. France*, ns, 160, 35-44.
- VAN VLIET-LANOE, B., FAGNARD, J.P., LANGOHR, R. et MUNAUT, A., 1992 - Evolution écopédologique et morphopédologique du sol lessivé de surface dans les loess d'Europe Occidentale: argumentation stratigraphique et archéologique. *Science du Sol*, 30 (2), 75-93.
- WOILLARD, G. et MOOK, G.W., 1982 - Carbon 14 dates at the Grande Pile Bog : correlation of land and sea chronologies. *Science*, 215, 159-161.
- ZIMMERMAN (D.W.), 1971 - Thermoluminescence dating using fine grains from pottery. *Archaeometry*, 13 (1), 29-52.