

LE TUF CALCAIRE DE LA CELLE-SUR-SEINE (SEINE ET MARNE) : NOUVELLES DONNÉES SUR UN SITE CLÉ DU STADE 11 DANS LE NORD DE LA FRANCE



N. LIMONDIN-LOZOUET¹, P. ANTOINE¹, P. AUGUSTE², J.J. BAHAIN³,
P. CARBONEL⁴, C. CHAUSSÉ¹, N. CONNET⁵, J. DUPERON⁶, M. DUPERON⁶,
C. FALGUERES³, P. FREYTET⁷, B. GHALEB⁸, M.C. JOLLY-SAAD⁹,
V. LHOMME⁵, P. LOZOUET¹⁰, N. MERCIER¹¹, J.F. PASTRE¹ & P. VOINCHET³

RÉSUMÉ

De nouvelles études morphostratigraphiques et biostratigraphiques ainsi que des datations ont été entreprises sur le célèbre dépôt de tuf calcaire de La Celle-sur-Seine afin d'obtenir une reconstruction détaillée des successions paléoenvironnementales et climatiques enregistrées dans cette formation interglaciaire du Pléistocène moyen. L'approche développée a privilégié l'aspect pluridisciplinaire afin d'exploiter la richesse paléontologique du gisement, de mieux appréhender ses caractères morphostratigraphiques et de préciser sa position chronologique.

Les premiers résultats obtenus à partir des études malacologiques montrent que le dépôt, composé de tufs et de niveaux limono-argileux, s'est construit en progradant le long du versant. Ainsi l'épaisseur totale de la formation atteint près de 9 mètres. Les malacofaunes permettent de reconstituer une évolution paléoenvironnementale correspondant au début puis à l'optimum d'une phase climatique interglaciaire. Les niveaux sommitaux sont, eux, caractérisés par un net recul de la couverture forestière.

La création de nouveaux profils stratigraphiques a permis la découverte dans un niveau de limon gris tufacé d'une abondante faune de mammifères accompagnée par quelques silex taillés. Cet horizon appartient à la malacozone la plus riche en taxons thermophiles qui est interprétée comme la phase optimum de l'Interglaciaire. La signification environnementale et climatique du cortège mammalogique, qui comprend en particulier de l'hippopotame et du macaque, corrobore les résultats malacologiques. L'industrie lithique est de type bifaciale en cohérence avec les récoltes de bifaces acheuléens effectuées à la fin du 19^e siècle.

La composition du cortège de mollusques permet de rapprocher la faune de La Celle de « l'assemblage à *Lyrodiscus* », caractéristique des tufs du stade 11 dans le Nord-Ouest de l'Europe. Cette attribution chronologique est confirmée par les premières mesures radiométriques obtenues par U-Th sur des échantillons de tuf duré et par RPE/U-Th sur une dent de cheval. Enfin la révision des collections paléontologiques d'empreintes foliaires permet, en conjonction avec les données malacologiques, d'initier la discussion sur l'interprétation paléoclimatique du biôme à *Lyrodiscus*. L'association floristique et faunique de La Celle qui comprend quelques taxons arboréens méditerranéens et nombre de gastéropodes éteints ou de répartition actuelle centre-européenne et océanique rend compte d'un environnement tempéré de forêt humide. La présence de ces espèces allochtones dans le Nord de la France est mise en parallèle avec la durée exceptionnellement longue du Stade Isotopique Marin (SIM) 11 et de faibles amplitudes de températures saisonnières, qui auraient permis à plusieurs taxons méridionaux de coloniser cette zone septentrionale, plutôt qu'avec un climat plus tempéré que l'actuel.

Mots-clés : Tuf calcaire, Interglaciaire, Pléistocène moyen, SIM 11, vallée de la Seine, France.

ABSTRACT

THE LA CELLE-SUR-SEINE (SEINE ET MARNE) TUF SEQUENCE: NEW DATA ON A MIS 11 KEY SITE FROM NORTHERN FRANCE.

New morpho and biostratigraphical studies have been undertaken at the famous calcareous tufa deposit of La Celle-sur-Seine in order to obtain a detailed paleoenvironmental and climatic reconstruction from this Middle Pleistocene Interglacial formation. Multiproxy approach allows to study palaeontological content of the tufa as well as its morphostratigraphical aspects and chronological allocation.

First results from malacological study show that the tufa edificated downwards the slope reaching a total thickness of 9 metres high. Moreover molluscs show palaeoenvironmental succession corresponding to the early part of an Interglacial period followed by an optimum phase. Finally, at the top of the deposit faunas clearly indicate decrease of forest biotopes.

¹ UMR 8591, LGP 1 Pl. A. Briand F-92195 Meudon cedex, limondin@cncs-belleuve.fr

² UMR 8018, UFR de Géographie, Université des Sciences et Technologies de Lille 1, F-59655 Villeneuve d'Ascq Cedex.

³ Dépt de Préhistoire du MNHN, UMR 5198 CNRS – USM 204, 1 rue René Panhard F-75013 Paris.

⁴ EPOC UMR 5805 CNRS Université Bordeaux 1 Avenue des Facultés F-33405 TALENCE Cedex.

⁵ INRAP, 7, rue de Madrid F-75008 Paris.

⁶ Lab de Paléobotanique et Palynologie évolutive, 12 rue Cuvier, F-75005 Paris.

⁷ 41 rue des Vaux Mourants F-91370 Verrières le Buisson.

⁸ GEOTOP, Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, Sta. Centre-Ville, Montréal, PQ. H3C 3P8, Canada.

⁹ Centre Henri Elhaï, Université Paris-X, 200 Avenue de la République, F-92001 Nanterre.

¹⁰ MNHN, Dép. De Systématique et Evolution, 55 rue Buffon, F-75005 Paris.

¹¹ LSCE, Domaine du CNRS Av. de la Terrasse, F-91198 Gif-sur-Yvette cedex.

Excavation of new profiles have allowed to discover a grey silty tufa horizon (1gt) yielding abundant mammal remains and a few lithic artefacts. This level is part of the molluscs zone 3 corresponding to the climatic optimum. Palaeoenvironmental and climatic conditions inferred from mammal assemblage (including *Hippopotamus* and *Macaca*) strengthened the malacological interpretation. The lithic industry is identified as Acheulean and appears in agreement with earliest handaxes discoveries during the late 19th century.

La Celle malacological fauna belongs to the well-known MIS 11 “*Lyrodiscus* assemblage” in north-west Europe. This chronological allocation is confirmed by first U-series radiometric measures. Finally reappraisal of leaf print collections allows together with malacological data to discuss palaeoclimatic interpretation of the “*Lyrodiscus* biome”. Flora and fauna from La Celle include a few mediterranean trees and several extinct gastropods together with few molluscs of central Europe modern range, allowing to describe a forest and humid landscape. Presence of these peculiar species in northern France is thought to be related with the long length of MIS 11 and low seasonal temperature contrast, that have allowed northern colonisation by southern species, rather than with occurrence of temperature higher than today.

Key-words: Calcareous tufa, Interglacial, Middle Pleistocene, MIS 11, Seine valley, France.

1 - INTRODUCTION

Le tuf de La Celle-sur-Seine en Seine-et-Marne fait partie des sites quaternaires classiques de la région parisienne, depuis longtemps cités dans les guides géologiques parfois sous le nom de tuf de La Celle-sous-Moret (Lapparent, 1900 ; Fritel, 1910 ; Chaline, 1972). Dès la fin du XIX^e siècle, son contenu paléontologique a permis de l'identifier comme le témoin d'une ancienne phase tempérée du Quaternaire (Saporta, 1874, 1876 ; Tournouër, 1874, 1877 ; Munier-Chalmas, 1903 ; Jodot, 1907, 1908). Reprise au milieu du XX^eme, son étude a été complétée par de nouvelles observations stratigraphiques et une révision des empreintes foliaires (Bourdier, 1969 ; Bourdier *et al.*, 1969 ; Capdeville, 1959). Ces dernières données confirment sans ambiguïté le caractère interglaciaire du tuf mais restent sur une controverse quant à son âge, Riss-Würm pour certains (Alimen, 1957) ou Mindel-Riss pour d'autres (Bourdier, 1961, 1969). Des études ultérieures apportent de nouveaux relevés de coupes tout en laissant cette question ouverte (Michel, 1972 ; Roblin-Jouve, 1980). Plus récemment, les synthèses régionales mettent le tuf de La Celle en équivalence avec des sites attribués au stade isotopique 11 sur des bases paléontologiques et morphologiques (Rousseau, 1992 ; Lautridou *et al.*, 1999).

La richesse paléontologique et l'exceptionnelle épaisseur de ce dépôt, entre 8 et 11 mètres selon les publications, ont motivé une reprise des recherches pour affiner notre connaissance sur la stratigraphie, l'évolution environnementale enregistrée ainsi que sur l'attribution chronologique du site.

Depuis 2003, le gisement de La Celle constitue un des sites-clef du projet SITEP (Signature climatique des Interglaciaires dans les Tufs européens, réponse des Environnements et impact sur le Peuplement paléolithique), développé dans le cadre du programme Eclipse II du CNRS-INSU, sur l'enregistrement des interglaciaires du Pléistocène en milieu continental. Il bénéficie des apports d'une équipe pluridisciplinaire permettant d'aborder la diversité des groupes fossiles préservés (mollusques continentaux, mammifères, ostracodes, flore), la morphostratigraphie ainsi que les traces d'occupations humaines. Plusieurs techniques de datation sont utilisées afin de discuter la chronologie (U-Th, Résonance Paramagnétique Electronique [RPE] sur quartz, acides aminés). Cet article fait état

des premiers résultats obtenus et des perspectives ouvertes par ces nouvelles recherches. Il s'appuie sur des travaux de terrain mais également sur la révision des collections anciennes de malacofaunes et d'empreintes foliaires.

2 - LOCALISATION ET STRATIGRAPHIE

Le tuf se trouve en rive droite de la Seine, à 2,5 km en amont de la confluence avec le Loing, sur la commune de Vernou-La Celle-sur-Seine, au lieu-dit du cimetière de La Celle (fig. 1 : A). Il s'adosse au versant façonné dans le calcaire Eocène dit de Champigny (Bartonien supérieur) et occupe une surface d'environ 500 mètres de long sur 250 mètres de large, pour une épaisseur variant entre 8 et 15 mètres (Tournouër, 1877 ; Bourdier *et al.*, 1969). Dans sa partie basse il repose sur une ancienne terrasse de la Seine à 15 mètres au dessus de l'étiage actuel du fleuve (fig. 1 : B). Il est possible de préciser la position de ces dépôts fluviaux anciens dans le système d'étagement des nappes alluviales élaboré sur le secteur de la confluence Seine-Yonne (Chaussé, 2003). Les formations fluviales et tufacées de La Celle reposent sur un plancher de la nappe de fond situé autour de 35/36 m NGF à Pincevent localisé à environ 4 km en amont de La Celle-sur-Seine, la nappe alluviale de La Celle se place à une altitude relative comprise entre 24 et 25 m au dessus de l'incision maximum. Dans le système d'étagement des nappes alluviales de la vallée de l'Yonne et de la confluence Seine-Yonne, la nappe alluviale définie à La Celle apparaît donc antérieure à la Nappe de Soucy (altitude relative 20 m) dont la mise en place se situe entre 300 et 350 ka.

Cinq sondages à la pelle mécanique ont été effectués dans l'ancienne carrière lors de la campagne de terrain menée en 2003 (fig. 2). Quatre d'entre eux ont été réalisés le long de l'ancien front de taille dans la partie ouest du site. Ils ont permis de circonscrire la zone de meilleure préservation des dépôts, le long du front ouest (sondages S1, S5 et S2). Vers l'est, le sondage 3 révèle un tuf déjà très érodé (fig. 3).

La stratigraphie observée dans cette partie du gisement se décompose en 4 grands ensembles (fig. 3). Sur le calcaire de Champigny se développe une sédimentation fluviale correspondant à une ancienne nappe alluviale de la Seine (ensemble 1). C'est à la base du

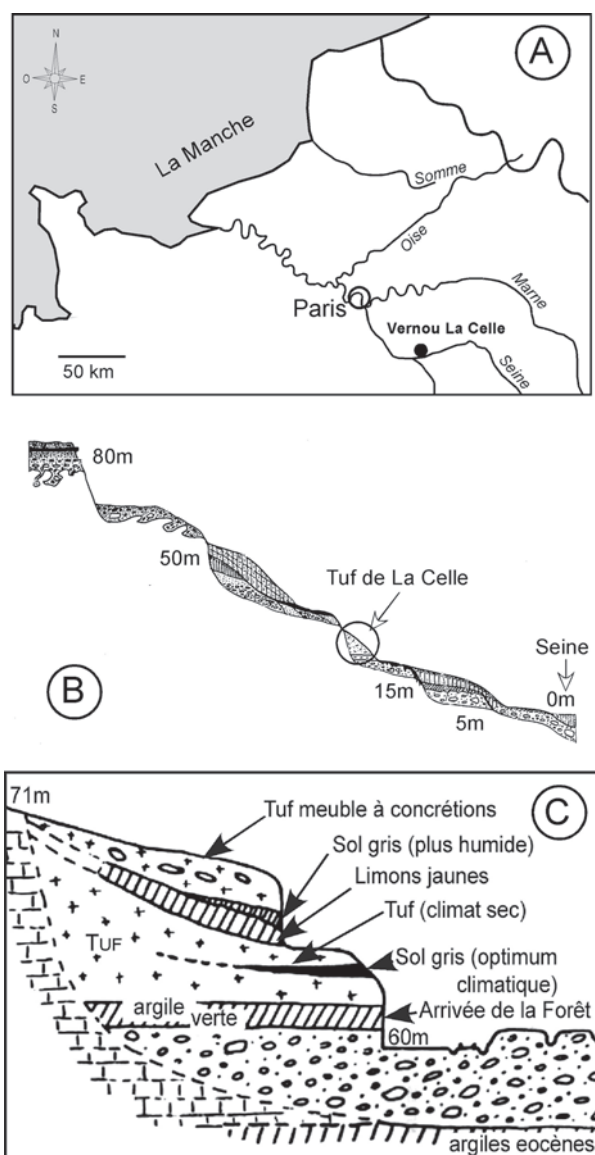


Fig. 1 : A. Localisation géographique du site de Vernou La Celle. B. Position du tuf de La Celle dans le système d'étagement des terrasses de la vallée de la Seine d'après le « Quaternaire de la région parisienne » de Bourdier (1969). Les altitudes sont données au dessus de l'étiage actuel. C. Coupe du tuf de La Celle à la fin des années 1960 d'après Bourdier (1969).

Fig. 1: A. Location of Vernou La Celle site. B. Position of La Celle tufa within the river Seine terrace system (after Bourdier, 1969). Heights are given above the modern valley. C. Outcrop of La Celle tufa at the end of the 60's (after Bourdier, 1969).

versant, au niveau du sondage 1, que cette formation est la plus complète. Elle comprend une nappe grossière à graviers surmontée par une couche sableuse. Celle-ci contient des lits plus limoneux et des passées de sable grossier qui ont été échantillonnées pour des datations RPE (fig. 3). La dernière unité alluviale est un limon gris-vert calcaire à rares granules carbonatés roulés. Le sommet de cette unité présente, dans le sondage 1, un litage horizontal plus marqué.

A la base du sondage 3, cette formation fluviatile est remplacée par un dépôt colluvial composé d'un cailloutis calcaire à matrice tufacée comportant des clastes émoussés d'environ 2 cm (ensemble 2).

L'ensemble 3 se développe sur 4 à 6 mètres d'épaisseur selon les profils. Les couches qui le constituent

comportent essentiellement des tufs de faciès plus ou moins grossiers, parfois indurés, séparés par des niveaux à fractions limoneuses calcaires ou sableuses importantes. Certains niveaux peuvent être corrélés d'un profil à l'autre, particulièrement entre les sondages 1 et 5, de la base vers le milieu du versant (fig. 3). Le plus remarquable d'entre eux est un limon gris tufacé (lgt), faiblement organique, riche en restes de faune de mammifères associés à quelques silex taillés, qui a pu être suivi en continu le long du talus séparant les deux sondages. Cette couche sablo-limoneuse présente une structure grumeleuse. L'abondance des fragments de coquilles, l'absence de traits texturaux et la nature détritrique des grains impliquent une construction de ce dépôt par apports colluviaux diffus.

Vers l'est, à la hauteur du sondage 3 (fig. 2), le tuf est tronqué par un paléoravin, colmaté par des limons loessiques. En effet, à cet endroit, le tuf qui ne présente plus qu'une puissance de l'ordre de 1,5 mètre, succède à un premier cailloutis à blocs calcaires marquant une forte érosion du versant. A son sommet, le tuf est raviné par un second cailloutis à blocaille de calcaire de Champigny, dont la mise en place suit l'incision du paléoravin et auquel succèdent les loess. Ces derniers sont recouverts par des colluvions limoneuses à granules de tuf, puis à cailloux calcaires. Ces formations de versant constituent l'ensemble 4. Bien qu'il n'y ait pas d'élément de datation, le dépôt des limons loessiques est sans doute postérieur à la formation des tufs et pourrait prendre place durant le dernier Glaciaire.

Ces nouvelles observations stratigraphiques recourent celles réalisées à partir des années 1960. Tous les relevés effectués (Bourdier, 1969 ; Michel, 1969, 1972 ; Roblin-Jouve, 1980, 1989) s'accordent pour identifier à la base de la séquence une nappe alluviale à graviers surmontée par des dépôts fluviatiles fins limono-argileux. Cet ensemble est recouvert par un tuf sur 3 à 10 mètres d'épaisseur selon les auteurs. La présence, dans la partie inférieure de l'assise tufacée, d'un niveau gris organique riche en coquilles de mollusques que l'on peut corréliser à l'unité lgt des derniers profils, est constante. La description la plus complète, qui sera toujours reprise dans les publications ultérieures, en est donnée par Bourdier (1969 ; fig. 1-C) qui présente l'unité comme un « sol gris », très riche en mollusques forestiers et correspondant probablement à un optimum climatique (Puisségur *in* Bourdier, 1969). Toutefois, certains auteurs ont souligné le caractère remanié de cette formation pédologique (Roblin-Jouve & Kervazo, 1990). L'examen micromorphologique de la base du niveau lgt a montré que ce dépôt est composé d'un sable limoneux, associant des particules de quartz et de calcite dont les diamètres sont globalement inférieurs au millimètre. La fraction grossière est comprise dans une micrite détritrique et la distribution est porphyrique. L'ensemble emballé des fragments coquilliers (tailles comprises entre 0,3 et 3 mm), des sphérules calcitiques de lombric non altérées (diamètre compris entre 0,25 et 1 mm) et des fragments de tufs. Ces éléments ne présentent pas d'organisation particulière.

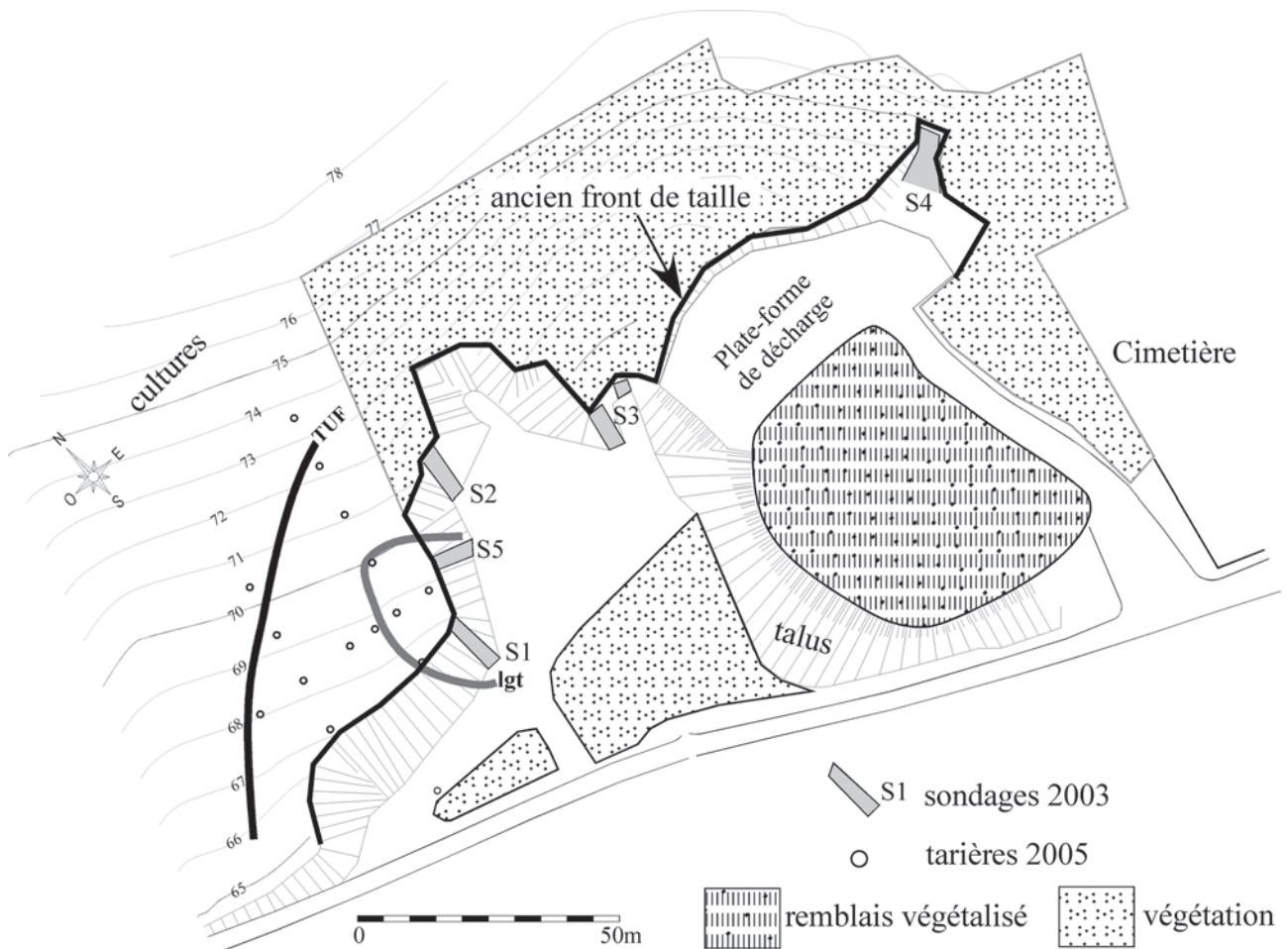


Fig. 2 : Plan de l'ancienne carrière de tuf de Vernou La Celle avec position des sondages effectués à la pelle mécanique (S1 à S5) et des tarières qui ont permis de positionner la limite occidentale d'extension du tuf et du niveau lgt à restes archéologiques.

Fig. 2: Map of the Vernou La Celle old quarry with location of the new sections (S1 to S5) together with the auger holes that have allowed the recognition of the western limit of both the tufa and the grey silty tufa (lgt) layer yielding archaeological artefacts.

Les fragments coquilliers et les sphérules sont relativement nombreux ; leurs densités varient pour les premiers entre 25 à 30 restes au cm², pour les secondes entre 6 et 8 objets au cm². Les fragments non roulés de constructions algaires ou tuf sont nettement plus grossiers ; leurs tailles sont comprises en moyenne entre 0,3 et 3 mm, mais certains peuvent dépasser le centimètre, tandis que leur densité n'excède pas 5 éléments au cm².

Ce niveau est marqué par l'absence de structuration du matériau sédimentaire, de bioporosité et de trait pédologique. Toutefois, la présence abondante de sphérules de lombric entières, indicatrices d'une bioturbation locale, et de nombreuses coquilles de mollusques, ainsi que la charge relative en débris organiques finement fragmentés, suggèrent la construction d'un horizon plus ou moins humifère de type cumulique alimenté par un processus de colluvionnement pelliculaire.

Les fragments tufacés reconnus en lame proviennent du démantèlement d'une ou plusieurs construction(s) algaire(s) associant des morphotypes tels que *Plaziatella colleniaeformis*, *Broutinella* sp ; *Koeniguerella sequanensis*, *Sarfatigirella pusilla* (Freytet, 1998). Les deux premiers ont pu être rapprochés de l'espèce actuelle *Schizothrix fasciculata* qui appartient au phylum des Cyanophyta (Freytet, 1998 ; John *et al.*, 2005).

Ce taxon évolue dans des milieux aquatiques, dynamiques ou non, et supportant des phases d'assèchement (John *et al.*, 2005). Les deux derniers morphotypes n'ont pas encore pu être attribués à une espèce algaire.

Comme le signalait déjà Bourdier (1969), la corrélation des profils de la partie ouest du gisement, tels que ceux créés en 2003, avec les comptes-rendus stratigraphiques plus anciens reste imprécise. Dans les premiers relevés (Tournouër, 1877 ; Munier-Chalmas, 1903 ; Jodot, 1907) les tufs sont divisés en une assise inférieure meuble surmontée par un banc concrétionné pouvant atteindre plusieurs mètres d'épaisseur. Ces coupes situées à l'est des travaux récents, près du cimetière, se trouvaient dans une zone aujourd'hui très perturbée par les anciennes exploitations et les rejets successifs de déchets qui leur ont succédé. Le sondage 4, réalisé près de l'extrémité nord du cimetière (fig. 2), visait à recréer une coupe proche de celle décrites par les premiers auteurs. Cependant, ce profil (fig. 4) situé relativement haut sur le versant a livré, à la base, une stratigraphie sensiblement différente de celle des premiers relevés. La nappe alluviale n'est pas représentée et le calcaire de Champigny est directement surmonté par des colluvions. Deux assises de tuf, friable et induré, y apparaissent bien superposées, cependant, l'extrême instabilité des parois du sondage

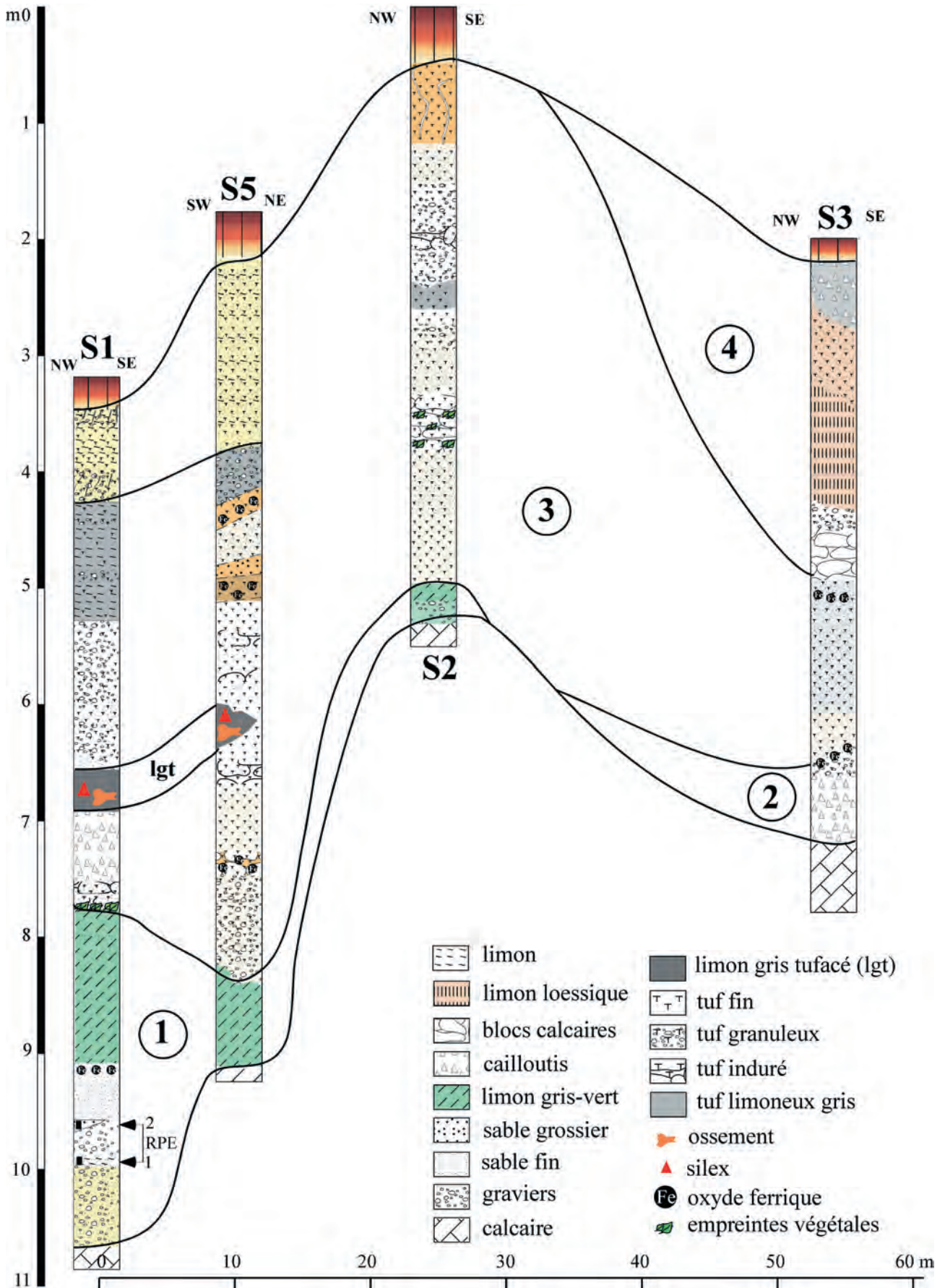


Fig. 3 : Stratigraphie du site de La Celle d'après les sondages de 2003 : 1. Formation alluviale, 2. Colluvions, 3. Tuf, 4. Formation de versant. RPE = position des échantillons destinés à la datation par résonance paramagnétique électronique sur quartz.

Fig. 3: Stratigraphy of La Celle sequence after the 2003 investigations: 1. Alluvial formation, 2. Colluvial deposit, 3. Tufa, 4. Slope sequence. RPE = ESR sampling.

n'a permis ni une observation détaillée ni un échantillonnage poussé. Seuls deux prélèvements, destinés à la datation par uranium/thorium et à l'étude malacologique, ont été effectués.

3 - DONNÉES GÉOCHRONOLOGIQUES

La relation entre le sondage 4 et les séquences décrites dans la partie occidentale du gisement reste incertaine, variation latérale de faciès ou diachronisme ? Les observations stratigraphiques ne permettent pas de trancher la question, mais les premières datations apportent des éléments de réponse. Un échantillon de tuf prélevé dans l'assise indurée de la partie sommitale du sondage 4 (fig. 4) a fait l'objet de deux datations U-Th, respectivement par spectrométrie alpha et par TIMS. Les résultats (tab. 1) indiquent un âge supérieur à 350 ka (limite d'application de la méthode par spectrométrie alpha) et proche de 400 ka (TIMS).

Par ailleurs, une dent d'équidé provenant du niveau lgt a été datée par les méthodes combinées RPE/U-Th (tab. 2). L'échantillon a été préparé puis analysé selon le protocole expérimental décrit dans Bahain *et al.* (2002). L'âge obtenu est de 425 ± 46 ka. Il confirme les données obtenues par U-Th sur le travertin et permet de dater la mise en place du niveau archéologique au cours du stade isotopique 11.

Ainsi, la concordance des différentes datations obtenues sur le site plaide pour une variation latérale des faciès de tuf entre les zones orientale et occidentale du dépôt plutôt que pour leur diachronisme.

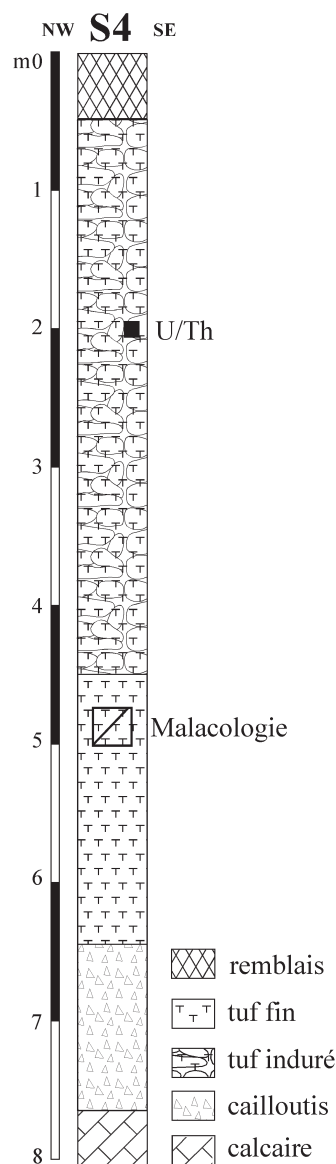


Fig. 4 : Sondage S4 effectué dans la partie orientale du gisement de La Celle. Le tuf s'y présente sous forme de deux assises superposées, l'une friable et l'autre indurée.

Fig. 4: Section S4 from the eastern part of the site. The lower half of the tufa appears granular while the upper half is indurated.

Méthode d'analyse	^{238}U (ppm)	$^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$	$^{230}\text{Th}/^{232}\text{Th}$	$^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}$	Age (ka)
Spectrométrie α (MNHN)	0,084	$1,184 \pm 0,055$	>100	$1,165 \pm 0,075$	>350
TIMS (GEOTOP)	0,097	$1,0732 \pm 0,0102$	$67,324 \pm 0,0102$	$0,99560 \pm 0,01490$	$387,505 + 88,890 / -48,181$

Tab. 1 : Données uranium-thorium et âges U-Th obtenus sur le travertin du sondage S4 de La Celle sur Seine.

Tab. 1: U-series data and ages obtained on the travertine sample from La Celle sur Seine.

Echantillon	Tissu dentaire	Teneur en uranium	Paléodose (Gy)	Paramètre p	D interne moyenne * ($\mu\text{Gy/an}$)	DB externe moyenne ($\mu\text{Gy/an}$)	D(γ +cosm) externe ** ($\mu\text{Gy/an}$)	Age RPE / U-Th (ka)
La Celle/Seine 2003-01 niveau lgt	dentine	10,58	$190,6 \pm 10,0$	-1,000 ***	114 ± 45	78 ± 30	250 ± 20	425 ± 46
	émail	0,49		$-0,645 \pm 0,190$				
	cément	4,80		-1,000 ***				

Tab. 2 : Données RPE et âge RPE/U-Th obtenus sur une dent d'équidé provenant du niveau lgt de La Celle sur Seine.

* un facteur k (efficacité alpha) de $0,13 \pm 0,02$ a été utilisé en accord avec Grün et Schwarcz (2000).

** la dose gamma a été mesurée in situ au moyen d'un spectromètre gamma portable NaI. La dose cosmique a été calculée à partir des données de Prescott et Stephan (1988).

*** facteur p bloqué à p=-1 (modèle EU).

Tab. 2: ESR data and ESR/US age obtained on equid tooth recovered from the lgt unit from La Celle sur Seine.

* a k-value (alpha efficiency) of $0,13 \pm 0,02$ was used according with Grün & Schwarcz (2000).

** the gamma dose was measured in situ using a portable gamma NaI spectrometer. The cosmic dose was calculated from data of Prescott & Stephan (1988).

*** p-value blocked at p=-1 (EU model).

4 - LES ANCIENNES COLLECTIONS PALÉONTOLOGIQUES

La célébrité du gisement de La Celle repose largement sur son contenu paléontologique essentiellement constitué par des empreintes foliaires et des coquilles de mollusques. La plus importante collection de matériel de La Celle concerne ces deux groupes et a été constituée par Munier-Chalmas au début du XX^e siècle. D'abord conservée au Département de Géologie de la Sorbonne, cette collection a été considérée comme perdue pendant de longues années suite au déménagement du matériel de la Sorbonne vers Jussieu. La réorganisation récente des collections de paléontologie de l'Université de Paris VI a très opportunément permis de retrouver les spécimens de La Celle et d'en faire une révision.

La nouvelle étude de la flore (Jolly-Saad *et al.*, 2006) a abouti au recensement de 166 échantillons. La qualité de conservation des empreintes étant variable, environ un tiers des spécimens n'a pu être déterminé. Au terme de cette étude, la liste floristique du site est composée de 24 taxons (tab. 3) et apparaît suffisamment déterminante pour caractériser la végétation contemporaine de la période interglaciaire enregistrée à La Celle. Les variations d'occurrences entre cette liste et les anciens relevés (Saporta, 1874, 1876 ; Capdeville, 1959) sont discutées en détail dans l'article de Jolly-Saad *et al.* (2006). Il convient en particulier de noter l'élimination

Empreintes foliaires de La Celle

Acer pseudoplatanus L.
Acer sp.
Hedera helix L.
Betula sp.
Corylus avellana L.
Buxus sempervirens L.
Sambucus type *nigra*
Viburnum lantana L.
Evonymus europaeus L.
Cornus sp.
Fagus sylvatica L.
Quercus sp.
Ficus carica L.
Ligustrum vulgare L.
Prunus spinosa L.
Prunus sp.
Populus type *nigra* L.
Salix type *alba*
Salix type *caprea*
Salix type *cinerea*
Salix type *fragilis*
Salix incana Schrank.
Salix type *viminalis*
Celtis australis L.

Tab. 3 : Liste des empreintes foliaires récoltées dans le tuf de La Celle, d'après la révision de la collection Munier-Chalmas de l'Université de Paris VI–Jussieu (Jolly-Saad *et al.*, 2006).

Tab. 3: List of print leaf taxa collected at La Celle after revision of the Munier-Chalmas collection housed at Paris VI University Jussieu (Jolly-Saad *et al.*, 2006)

de *Laurus canariensis* et *Laurus nobilis* var. *canariensis* qui avaient été fortement évoqués dans les précédents travaux pour étayer l'interprétation d'un climat sensiblement plus chaud que de nos jours (Saporta, 1874, 1876 ; Jodot, 1907 ; Capdeville, 1959). La nouvelle liste floristique reflète une formation végétale calcicole, thermophile, dont l'originalité est d'allier des éléments tempérés (*Fagus*, *Acer*) et des taxons méditerranéens tels que *Buxus sempervirens*, *Ficus carica* et *Celtis australis* (fig. 5), mais qui ont une amplitude écologique relativement large leur permettant de supporter assez bien le froid.

Les collections malacologiques sont au nombre de trois. La plus ancienne a été récoltée par Tournouër et se trouve au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris (Département de Paléontologie). Celle de Munier-Chalmas, qui appartient à l'Université de Paris VI, est la plus importante en quantité et en qualité de spécimens. La troisième, constituée par Puisségur, est conservée à l'Université de Montpellier. Sur ces trois collections, seule la première a fait l'objet de comptes-rendus publiés (Tournouër, 1874, 1877). Certaines familles demandent encore à être soigneusement revues mais le premier examen de ces collections permet cependant de dresser une liste de 86 espèces incluant 66 terrestres, dont 36 forestiers (tab. 4). Ces proportions sont très largement au dessus de ce qui est recensé dans les meilleurs enregistrements holocènes pour lesquels le nombre d'espèces se situe autour de 50 (par ex : Preece & Bridgland, 1999 ; Meyrick & Preece, 2001 ; Limondin-Lozouet & Preece, 2004). Par ailleurs, ce cortège comprend près d'une vingtaine d'espèces qui présentent aujourd'hui une distribution géographique décalée vers l'Europe centrale auxquelles s'ajoutent quelques taxons éteints. Ces éléments soulignent la particularité des biotopes qui se sont développés à La Celle.

5 - LES NOUVELLES SÉRIES MALACOLOGIQUES

L'étude des séries malacologiques échantillonnées sur les sondages réalisés en 2003 n'est pas achevée, néanmoins la liste de faune obtenue totalise 77 espèces dont 62 terrestres incluant 31 forestiers (tab. 5 et 6) et apparaît donc représentative par rapport aux données extraites des collections anciennes. La succession des assemblages malacologiques des profils S2 et S5, respectivement localisés au sommet et en milieu de versant (fig. 2), permet de définir quatre malacozones (figs. 6 et 7).

La première n'est représentée qu'à la base du sondage 2 et regroupe des assemblages provenant de faciès tufacés fins qui deviennent progressivement plus sableux. Ces faunes assez peu diversifiées sont composées d'espèces palustres (*Oxyloma elegans*, *Vertigo antivertigo*, *Vertigo genesii*, *Zonitoides nitidus*) et de taxons plus ubiquistes (*Vallonia pulchella*, *Cochlicopa lubrica*, *Trichia hispida*, *Euconulus fulvus*), mais qui

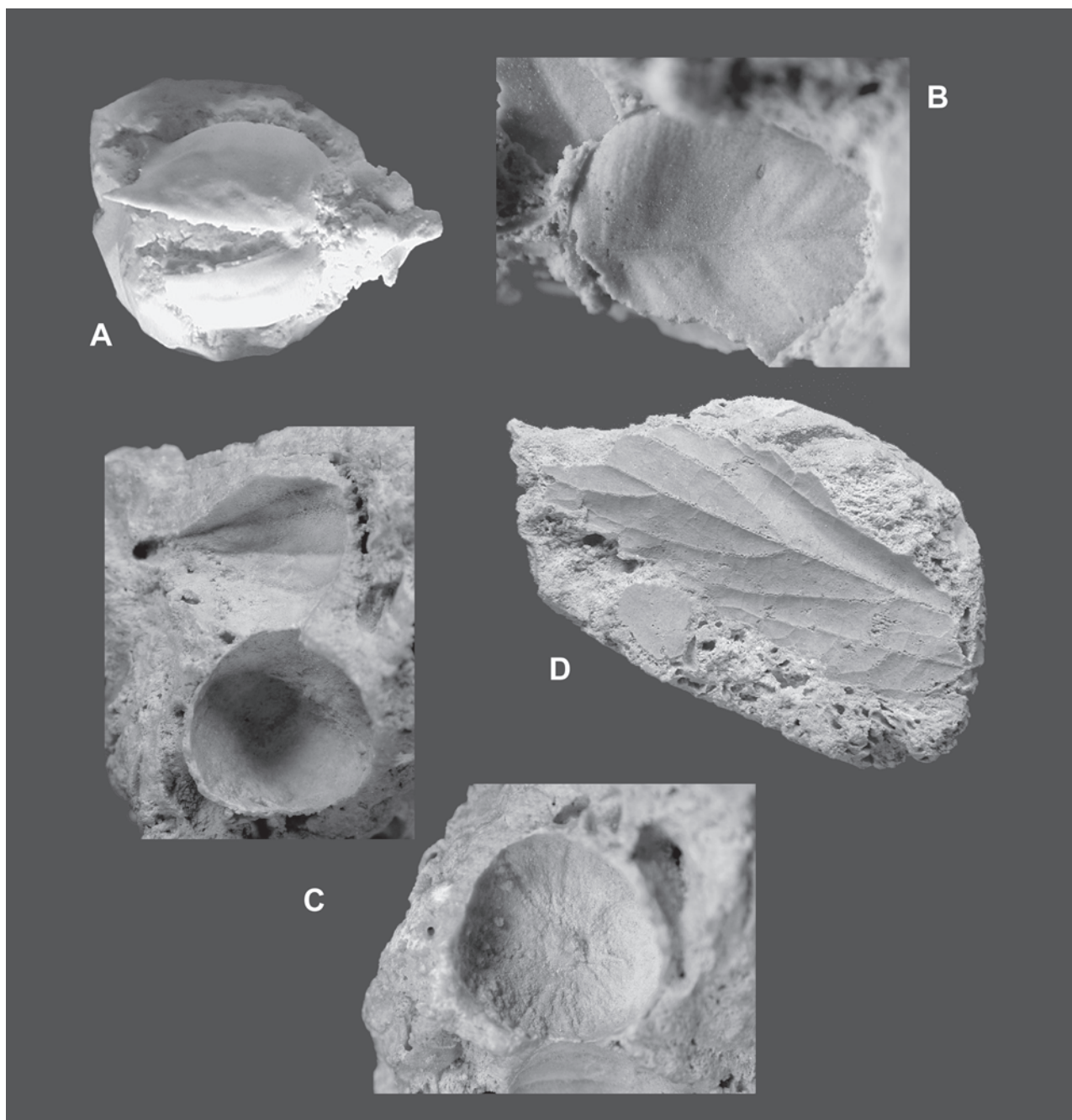


Fig. 5 : Flore du gisement de La Celle, collection Munier-Chalmas, Université de Paris VI. A (x5) et B (x3,9) fruit et feuille de *Buxus sempervirens* ; C (x1,6 et x1,7) fruits de *Ficus carica*, D (x1,14) feuille de *Celtis australis*.

*Fig. 5: Flora of La Celle, Munier-Chalmas collection, Université de Paris VI. A (x5) et B (x3,9) fruit and leaf print of *Buxus sempervirens*; C (x1,6 et x1,7) fruits of *Ficus carica*, D (x1,14) leaf print of *Celtis australis*.*

ont cependant une nette préférence pour les milieux humides et ouverts (Kerney *et al.*, 1983). Elles constituent des assemblages de prairie humide à marécageuse. Les sous-zones a et b (fig. 6) distinguent la diversification des faunes et l'augmentation des effectifs de la base vers le sommet de la biozone. Ces assemblages et leur évolution qualitative et quantitative rapide correspondent au processus classique de colonisation d'un milieu par les malacofaunes au début d'une phase de réchauffement mise en évidence de manière détaillée lors du passage Tardiglaciaire weichsélien/Holocène (Limondin, 1995 ; Limondin-Lozouet & Antoine, 2001 ; Preece & Bridgland, 1999).

Dans la zone 2 apparaissent puis se développent des assemblages de biotopes forestiers. Là encore le parallèle avec l'évolution des malacocénoses du début de l'Holocène est étroit, les premiers forestiers sont diversifiés mais peu abondants tandis que les espèces de milieux ouverts, dominantes dans la zone précédente (*O. elegans*, *V. pulchella*), ont presque disparu et sont remplacées par *Vallonia costata*, mieux adaptée aux milieux un peu fermés (sous-zone a, fig. 6). Dans la sous-zone b (fig. 6) la diversité des espèces forestières ainsi que leurs effectifs s'accroissent. La dernière sous-zone, nommée c (fig. 6), est caractérisée par le recul de certains mollusques forestiers et le regain de plusieurs

La Celle-sur-Seine	C	S2	S5	E	HD	LD	F		C	S2	S5	E	HD	LD	F
<i>Cochlostoma septemspirale</i>															
<i>Platyla similis</i>															
<i>Platyla polita</i>															
<i>Pomatias elegans</i>															
<i>Bithynia tentaculata</i>															
<i>Belgrandia marginata</i>															
<i>Bythiospeum</i> sp.															
<i>Valvata cristata</i>															
<i>Valvata piscinalis</i>															
<i>Galba truncatula</i>															
<i>Stagnicola corvus</i>															
<i>Stagnicola palustris</i>															
<i>Radix auricularia</i>															
<i>Radix balthica</i>															
<i>Lymnaea stagnalis</i>															
<i>Planorbis planorbis</i>															
<i>Anisus spirorbis</i>															
<i>Bathyomphalus contortus</i>															
<i>Hippeutis complanatus</i>															
<i>Gyraulus albus</i>															
<i>Gyraulus laevis</i>															
<i>Armiger crista</i>															
<i>Carychium minimum</i>															
<i>Carychium tridentatum</i>															
<i>Succinea putris</i>															
<i>Succinella oblonga</i>															
<i>Succinea joinvillensis</i>															
<i>Oxyloma elegans</i>															
<i>Cochlicopa lubrica</i>															
<i>Cochlicopa lubricella</i>															
<i>Azeca goodalli</i>															
<i>Lauria cylindracea</i>															
<i>Sphyradium doliolum</i>															
<i>Vallonia costata</i>															
<i>Vallonia pulchella</i>															
<i>Acanthimula aculeata</i>															
<i>Spermodea lamellata</i>															
<i>Pupilla muscorum</i>															
<i>Columella edentula</i>															
<i>Truncatellina cylindrica</i>															
<i>Vertigo angustior</i>															
<i>Vertigo antiverigo</i>															
<i>Vertigo pusilla</i>															
<i>Vertigo pygmaea</i>															
<i>Vertigo moulinsiana</i>															
<i>Jaminia quadridens</i>															
<i>Ena montana</i>															
<i>Cochlodina laminata</i>															
<i>Ruthenica filograna</i>															
<i>Macrogastra ventricosa</i>															
<i>Clausilia bidentata</i>															
<i>Clausilia dubia</i>															
<i>Clausilia parvula</i>															
<i>Cecilioides acicula</i>															
<i>Punctum pygmaeum</i>															
<i>Discus rotundatus</i>															
<i>Discus ruderatus</i>															
<i>Vitrea contracta</i>															
<i>Vitrea crystallina</i>															
<i>Euconulus fulvus</i>															
<i>Zonitoides excavatus</i>															
<i>Zonitoides nitidus</i>															
<i>Oxychilus navarricus</i>															
<i>Oxychilus cellarius</i>															
<i>Aegopinella nitidula</i>															
<i>Aegopinella pura</i>															
<i>Aegopinella bourdieri</i>															
<i>Nesovitrea hammonis</i>															
<i>Aegopsis acieformis</i>															
<i>Vitrina pellucida</i>															
<i>Phenacolimax major</i>															
<i>Bradybaena fruticum</i>															
<i>Bradybaena chouquetiana</i>															
<i>Helicodonta obvoluta</i>															
<i>Trichia hispida</i>															
<i>Trichia villosa</i>															
<i>Helicella itala</i>															
<i>Candidula radigueli</i>															
<i>Hygromia limbata</i>															
<i>Perforatella bidentata</i>															
<i>Arianta arbustorum</i>															
<i>Helicigona lapicida</i>															
<i>Cepaea hortensis</i>															
<i>Cepaea nemoralis</i>															
<i>Unio</i> sp.															
<i>Pisidium</i> sp.															
<i>Vertigo genesii</i>															
<i>Balea perversa</i>															
<i>Vallonia excentrica</i>															
<i>Pagodulina pagodula</i>															
<i>Retinella (Lyrodiscus) cf. elephantium</i>															
<i>Physa fontinalis</i>															

Tab. 4 : Malacofaunes de La Celle. C : espèces recensées après révision dans les collections Tournouër (MNHN-Paris), Munier-Chalmas (Univ. Paris VI Jussieu) et Puisségur (Univ. Montpellier). S2 et S5 : espèces recensées dans les nouvelles séries échantillonnées sur les profils S2 et S5 réalisés en 2003. E : espèces éteintes. HD : espèces hors de leur aire de distribution actuelle. LD : espèces en limite de leur aire actuelle de distribution. F : espèces de milieu forestier.

Tab. 4: La Celle malacofaunas. C: list of species after revision of Tournouër (MNHN-Paris), Munier-Chalmas (Univ. Paris VI Jussieu) and Puisségur (Univ. Montpellier) collections. S2 and S5: species collected within sections S2 and S5. E: extinct species. HD: species beyond their modern range. LD: species at the limit of their modern range. F: forest species.

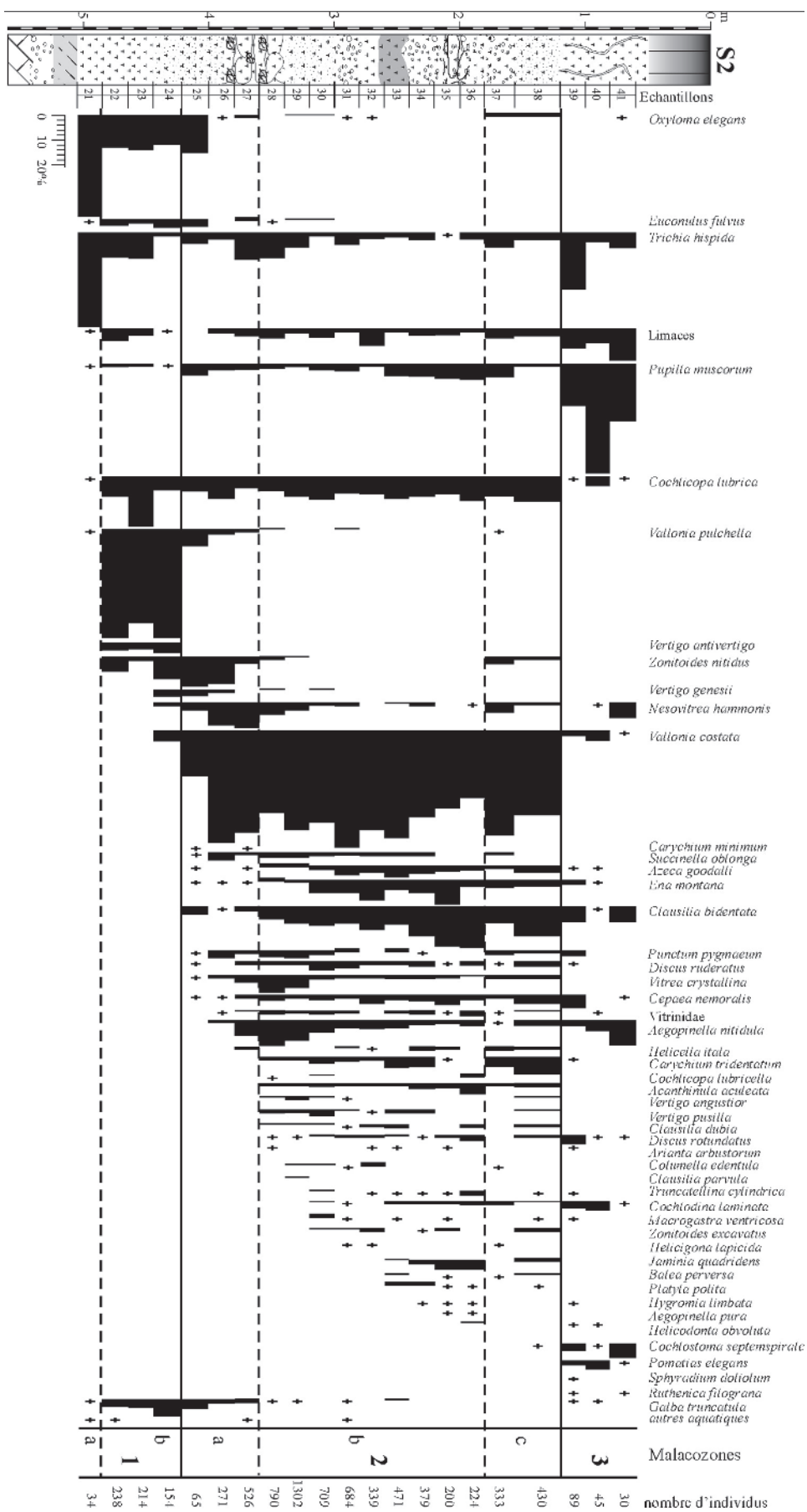


Fig. 6 : Diagramme malacologique du sondage S2 de La Celle. Les croix correspondent à l'occurrence d'un individu unique. Lithologie voir légende de la figure 3.

Fig. 6: Malacological diagram of S2 section at La Celle. Crosses represent single shells, for lithology see figure 3.

La Celle S2	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
<i>Cochlostoma septemspirale</i>																		1	3	1	2
<i>Platyla polita</i>													3	2	2	1		1			
<i>Pomatias elegans</i>																			2	2	1
<i>Carychium minimum</i>					1		1														
<i>Carychium tridentatum</i>								11	17	19	17	6	21	17	1		14	33	1		
<i>Succinella oblonga</i>					1	8	5	18	30	11	6	2	3	2			4				
<i>Succinea putris</i>																	1				
<i>Oxyloma elegans</i>	14	32	30	19	10	1	9		3	2	1	1					2	3			1
<i>Cochlicopa lubrica</i>	1	20	43	9	4	26	27	50	109	70	50	25	45	32	15	23	27	45	1	2	1
<i>Cochlicopa lubricella</i>								1		2						2					
<i>Azeqa goodalli</i>					1		1	6	8	14	29	10	23	15	5	5	3	15	1	1	
<i>Vallonia costata</i>				7	12	123	219	264	524	266	325	138	205	135	63	61	140	148	2	2	1
<i>Vallonia pulchella</i>	1	107	82	68	5	7	7	3				2					1				
<i>Acanthinula aculeata</i>								7	11	9	8	6	5	8	4	10	3	3			
<i>Pupilla muscorum</i>	1	4	3	1	3	7	13	16	20	18	25	5	27	22	13	14	19	6	15	20	7
<i>Columella edentula</i>								2	2	1	2						1				
<i>Truncatellina cylindrica</i>										2		1	1	1	1	5		1	1		
<i>Vertigo angustior</i>								3	7	3	1							2			
<i>Vertigo pusilla</i>								5	20	6	2	1	3	2				2			
<i>Vertigo antivertigo</i>		8	6	7																	
<i>Vertigo genesii</i>				5	2	5		3		2											
<i>Sphyradium doliolum</i>																				1	
<i>Jamimia quadridens</i>													3	8	8	9		3			
<i>Ena montana</i>					1	1	1	6	19	38	35	28	19	20	20	6	10	11	2	1	
<i>Cochlodina laminata</i>										2	1		7	6	3	4	2	2	3	2	1
<i>Macrogastera ventricosa</i>										5	1		1		1			1	1		
<i>Clausilia parvula</i>									4												
<i>Clausilia bidentata</i>						10	42	90	56	46	33	34	46	32	37	23	53	6			2
<i>Clausilia dubia</i>							3	2	3	1	3	5				4		4			
<i>Clausilia sp.</i>				2	1															1	
<i>Balea perversa</i>													3		1		1	2			
<i>Ruthenica filograna</i>																				1	1
<i>Punctum pygmaeum</i>					1	8	8	22	44	14	5		3	1			6	4	2		
<i>Discus rotundatus</i>								1	1	3	6	4	2	1	2	6		4	4	1	1
<i>Discus ruderatus</i>					1		4	7	22	26	19	5	3	8	1	4	1	10	1		
<i>Vitrea crystallina</i>					1	3	20	54	73	13	7	4	3	3	2	1	2	3			
<i>Euconulus fulvus</i>	1	6	4	6	2		3	1	3	3											
<i>Zonitoides excavatus</i>										3	2	2		1	2			3			
<i>Zonitoides nitidus</i>		16	5	14	8	31	15	4	2								10	5			
<i>Aegopinella nitidula</i>						4	34	83	107	37	20	12	14	8	3	5	1	9	2	2	3
<i>Aegopinella pura</i>															2	1					
<i>Nesovitrea hammonis</i>				3	2	25	54	38	39	12	4		2	2		1	15	6		1	2
<i>Oxychilus sp.</i>																	1				
Vitridae						1	2	5	12	11	6		4	2	1	6	1	2		1	
Limaces	1	12	8	1		6	19	34	25	27	12	25	7	11	5	4	14	15	8	3	4
<i>Bradybaena sp.</i>					1																
<i>Helicigona lapicida</i>										1	1						1				
<i>Helicodonta obvolvata</i>																2			1	1	
<i>Trichia hispida</i>	13	25	23	3	3	8	59	85	86	14	35	10	11	12	1	7	23	13	23	2	2
<i>Helicella itala</i>						8					2	1		3	2		2	4			
<i>Hygromia limbata</i>														1	1	1				1	
<i>Arianta arbustorum</i>								1				1	1		1				1		
<i>Cepaea nemoralis</i>						1		16	21	16	12	13	11	10	8	5	5	16	5		1
<i>Cepaea sp.</i>					1		3													1	
<i>Valvata cristata</i>	1	1																			
<i>Galba truncatula</i>	1	7	10	11	3	5	3	1	1		1		2						1	1	
<i>Bithynia tentaculata</i>											1										
<i>Radix balthica</i>							1														
TOTAL	34	238	214	154	65	271	526	790	1302	709	684	339	471	379	200	224	333	430	89	45	30
Nombre d'espèces	9	11	10	13	21	19	24	29	28	31	32	25	29	27	27	25	28	32	25	18	15

Tab. 5 : Malacofaunes du sondage S2 de La Celle.
 Tab. 5: Molluscan fauna from profile S2 at La Celle.

taxons palustres (*Z. nitidus*, *O. elegans*). Ces assemblages signalent un épisode plus marécageux qui correspond très probablement à un phénomène local et ponctuel, comme cela est fréquemment observé dans les séries malacologiques de milieu humide (Limondin-Lozouet, 2001), car il n'est pas enregistré dans la partie basale du sondage 5 (fig. 7). D'une manière générale la zone 2 correspond à la mise en place d'une forêt claire à sol relativement humide au sein d'un paysage qui conserve des zones plus ouvertes. Elle couvre une grande partie du sondage 2 ainsi que la base du sondage 5 où le tuf présente en majorité des faciès un peu sableux, souvent granuleux avec des passées indurées.

Les malacofaunes de la zone 3 (figs. 6 et 7) sont marquées par un nouvel enrichissement des espèces forestières. Par ailleurs, au sein du cortège des espèces de terrain découvert, *V. costata* diminue fortement au profit de *Pupilla muscorum*, *Trichia hispida* et des Limaces (fig. 7). Ceci indique un sol moins humide et une stabilisation des conditions par rapport à la phase précédente. Un pic très net de développement qualitatif et quantitatif de la malacocénose, composée à 50 % par des taxons forestiers, est enregistré dans le niveau de limon gris tufacé (lgt) qui a livré des restes archéologiques. Le paysage reste composite mais les aires boisées augmentent et se densifient. Stratigraphiquement, cette zone concerne des niveaux de tuf plus fins qui suggèrent un épisode de plus grande stabilité environnementale. La lithologie et le développement maximum des biotopes forestiers liés à la malacozone 3 sont interprétés comme les signes d'une période d'optimum climatique.

La zone 4 n'est représentée qu'au sommet de la séquence S5 (fig. 7). Le changement qui affecte les assemblages malacologiques est important. La très grande majorité des espèces forestières précédemment développées disparaissent ou diminuent drastiquement (fig. 7). En revanche apparaissent deux nouvelles espèces de mollusques forestiers, *Perforatella bidentata* et *Spermodea lamellata*, qui marquent une nette préférence pour les milieux fermés et particulièrement humides. Ces deux taxons ne vivent plus dans le Nord de la France aujourd'hui et ont une répartition nettement décalée vers le nord et le centre de l'Europe. En parallèle, parmi les mollusques de milieux ouverts, *P. muscorum* devient anecdotique alors que se maintiennent ou se développent plusieurs espèces de biotopes humides à marécageux tels que *O. elegans*, *T. hispida*, *V. costata*, *Succinella oblonga*, *Carychium minimum*. Enfin, la présence de quelques aquatiques est notée de manière plus constante. Ces divers éléments permettent d'interpréter un changement environnemental vers un paysage beaucoup plus ouvert, se développant sous des conditions humides où la forêt apparaît conservée sous forme de bosquets. Dans la lithologie, cette zone correspond à une épaisse unité de tuf sableux jaune pâle (fig. 7) souvent décrite par les anciens auteurs comme le « tuf à Succinées » (Munier-Chalmas, 1903 ; Jodot, 1907 ; Bourdier, 1969).

Bien qu'encore incomplète, l'étude des nouvelles séries malacologiques met en évidence une évolution environnementale complexe pendant l'édification du tuf qui peut être replacée dans le cycle climatique. A la base, le milieu est encore très ouvert et le caractère pionnier des espèces composant les assemblages signale que la formation du tuf débute durant la phase initiale du réchauffement climatique. Par la suite, le développement progressif des biotopes forestiers aboutit à une phase d'acmé qui est corrélée à un optimum interglaciaire. Au sommet de la séquence, l'ouverture du paysage implique sans doute une baisse des températures mais les malacofaunes reflètent clairement le caractère humide des conditions environnementales. La séquence de La Celle présente des évidences de phases érosives et il est encore impossible en l'état actuel des études de cerner précisément la durée corrélative de l'édification du tuf. Néanmoins et en dépit des probables hiatus, les successions malacologiques démontrent que cette durée a été suffisamment longue pour permettre l'enregistrement de plusieurs étapes du cycle climatique tempéré.

D'un point de vue stratigraphique, l'évolution des malacocénoses précise les corrélations entre les profils S2 et S5. En effet, la mise en correspondance étroite de l'apparition de plusieurs taxons repères qui définissent les biozones permet de mettre en évidence la contemporanéité de certains faciès (fig. 8). Ainsi, la base de la malacozone 2 sur le sondage 5 est corrélée avec la base de la zone 2b du sondage 2 à partir de l'occurrence d'un groupe d'espèces forestières (*Acanthinula aculeata*, *Arianta arbustorum*, *Discus rotundatus*, *Clausilia dubia*, *Cochlodina laminata*, *Macrogastrea ventricosa*, *Vertigo angustior*, *Carychium tridentatum*). De même, la corrélation de la base de la zone 3 entre les deux profils repose sur l'apparition d'un autre cortège de mollusques forestiers composé de *Cochlostoma septemspirale*, *Ruthenica filograna*, *Pomatias elegans* et *Sphyradium doliolum*.

Ces données biostratigraphiques montrent que la séquence de tuf ne s'accumule pas de manière régulière le long du versant, mais s'édifie en paliers progressifs de l'amont vers l'aval. Cette construction explique d'une part l'absence de la couche lgt sur le profil S2 et d'autre part met en évidence que la succession des tufs observable sur ces profils se développe non pas sur 6 mètres maximum mais sur 9 mètres d'épaisseur (fig. 8).

Les assemblages malacologiques récoltés à La Celle sont également remarquables par la présence de nombreux taxons éteints ou hors de leur répartition géographique actuelle (tab. 4 et fig. 9). Ceux-ci sont en grande majorité des espèces de biotopes forestiers. L'ensemble qu'elles constituent peut être rapproché sans ambiguïté de « l'assemblage à *Lyrodiscus* » défini sur plusieurs gisements de tufs du Nord de la France et du Sud-Est de la Grande-Bretagne (Kerney, 1976 ; Rousseau *et al.*, 1992 ; Preece *et al.*, 2000 ; Antoine & Limondin-Lozouet, 2004). La comparaison de la liste de faune de La Celle avec celles de ces gisements, dont plusieurs ont été récemment révisées (Limondin-

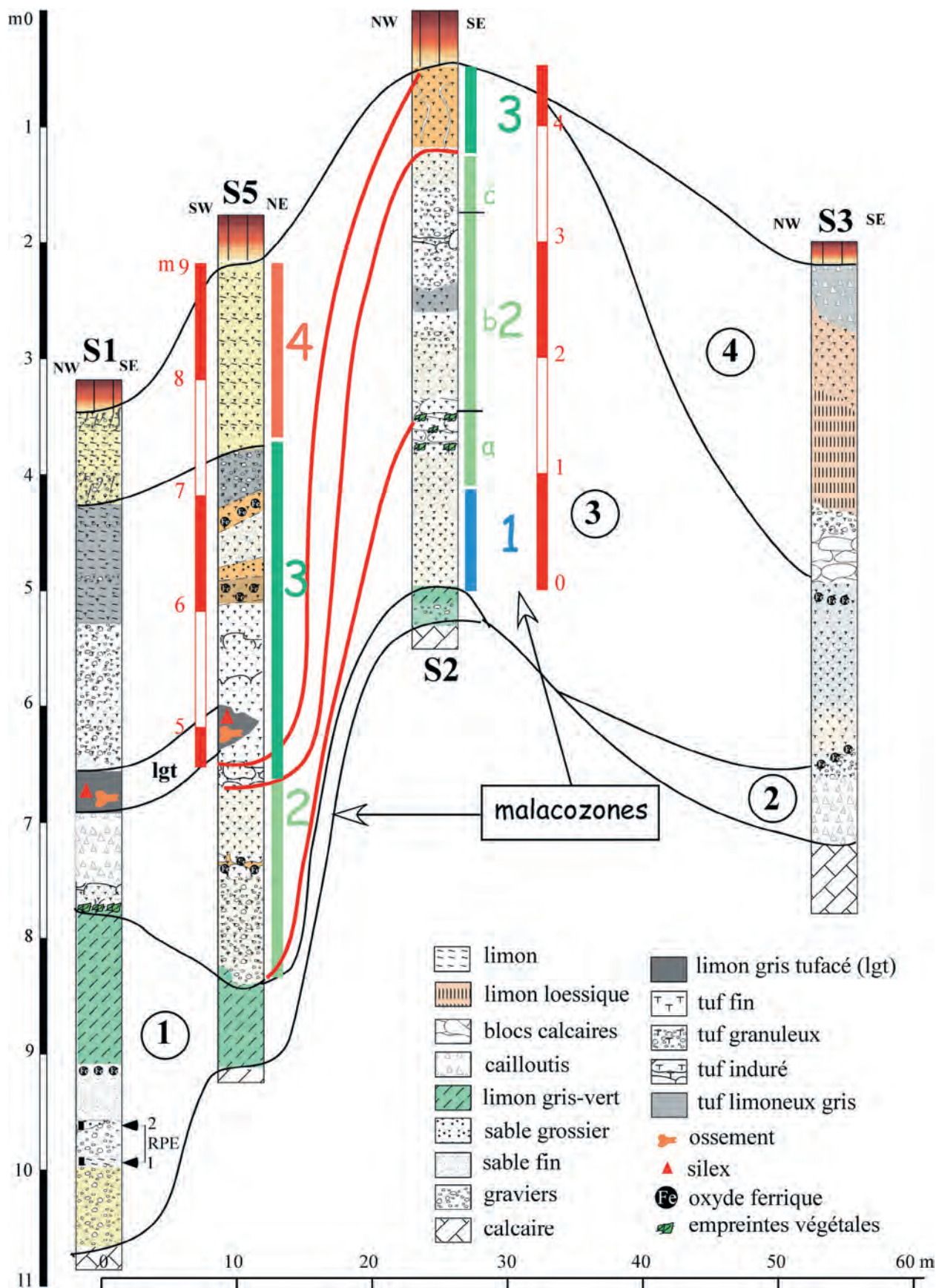
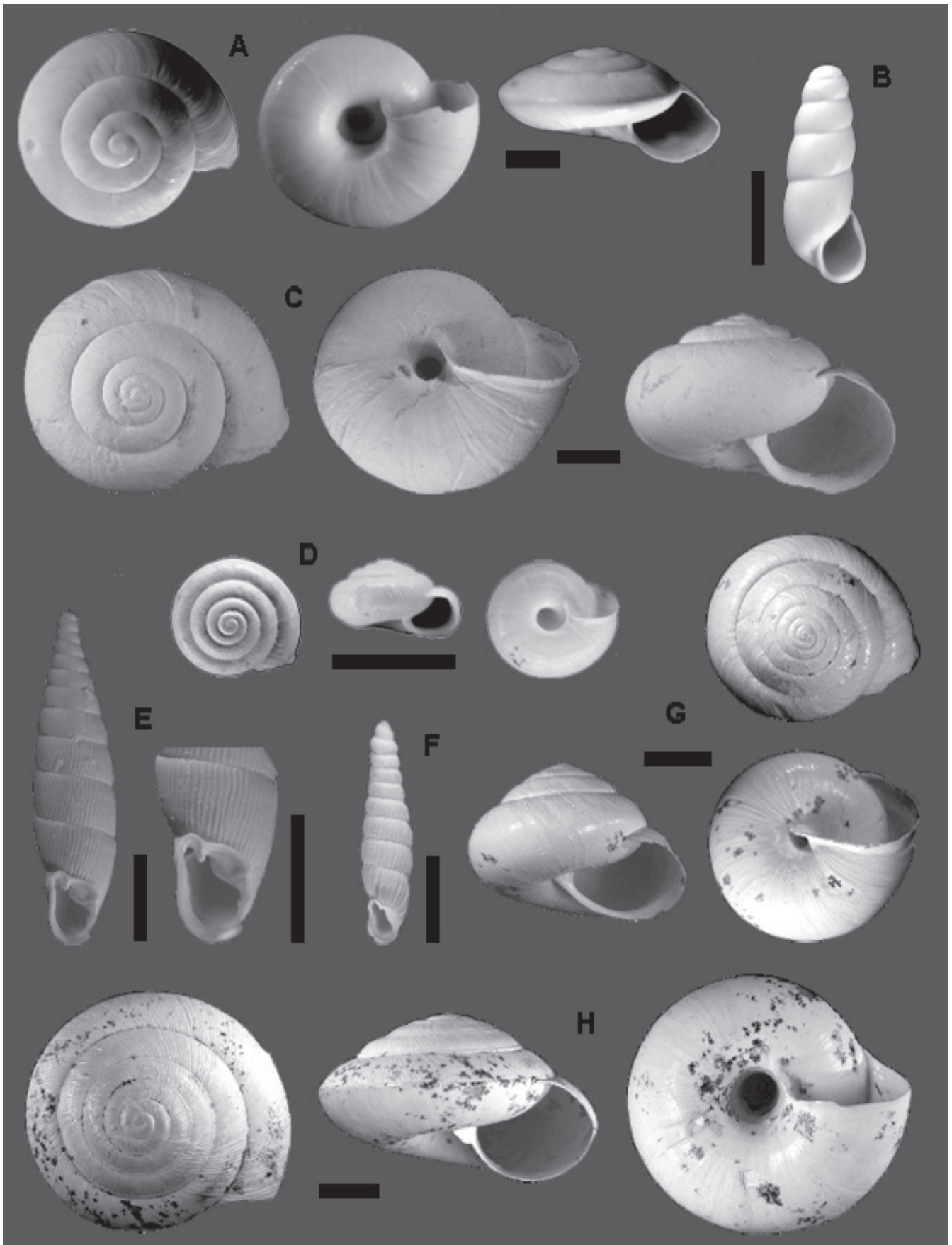


Fig. 8 : La projection des malacozones sur les profils de La Celle permet de mettre en évidence des corrélations biostratigraphiques qui s'appuient sur l'occurrence conjointe de nombreux taxons forestiers (voir texte). Ces correspondances illustrent la construction progressive du dépôt de l'amont vers l'aval du versant ce qui augmente l'épaisseur absolue de la formation signalée par l'échelle rouge.

Fig. 8: Malacological zonation versus lithology at La Celle showing biostratigraphical correlations based on occurrence of numerous forest species (see text). These correlations demonstrate progressive accumulation of the tufa from the top of the slope downwards resulting in a higher absolute thickness of the deposit illustrated by the red scale.



Lozouet & Antoine, 2006), montre qu'à une exception près, toutes les espèces éteintes de l'assemblage à *Lyrodiscus* sont présentes à La Celle (*Retinella* (*Lyrodiscus*), *Aegopinella bourdieri*, *Aegopsis acieformis*, *Bradybaena chouquetiana*, *Succinea joinvillensis*). S'y ajoutent une dizaine d'espèces disparues dans la région (*Ena montana*, *M. ventricosa*, *Platyla polita*, *Platyla similis*, *R. filograna*, *Discus ruderratus*, *Hygromia limbata*, *Clausilia pumila*, *C. dubia*, *P. bidentata*).

Actuellement, le genre *Retinella* (*Lyrodiscus*) n'est représenté que par des fragments de coquilles et la détermination de ce taxon au rang spécifique devra être confirmée par des récoltes ultérieures. Cependant, une attribution à l'espèce *R. (L.) elephantium* (Bourguignat, 1869) est très probable étant donnée l'occurrence d'une grande partie des mollusques qui forment l'assemblage à *Lyrodiscus*. Tous les dépôts qui ont livré cette malacofaune sont datés du stade isotopique marin 11 (Rousseau *et al.*, 1992 ; Limondin-Lozouet & Antoine, 2006). A La Celle, cette attribution chronologique est cohérente par rapport aux premières mesures radiométriques obtenues sur le travertin et la dent de cheval du niveau Igt, ainsi que par rapport à la position de la nappe alluviale dans le système de la Seine (Moyenne terrasse).

Comparés aux faunes d'autres interglaciaires, les assemblages récoltés à La Celle ou dans d'autres formations de tufs du stade 11 (Rousseau *et al.*, 1992 ; Limondin-Lozouet & Antoine, 2006 ; Preece *et al.*, sous presse) sont particulièrement diversifiés, riches en taxons forestiers et comprennent de nombreuses espèces disparues ou hors de leur zone de répartition géographique actuelle. Parmi ces dernières se trouvent principalement des taxons de distribution moderne centre-européenne, quelques gastéropodes d'origine océanique (*Retinella L. elephantium*, *Hygromia limbata*, *Laminifera pauli*, *Leiostyla anglica*), et une espèce de répartition européenne méditerranéenne et orientale (*P. similis*). L'association très originale constituée par ces mollusques forestiers n'a pas d'analogue ni dans l'actuel ni dans le Pléistocène. Par leur écologie, ces mollusques induisent un paysage de forêt et des conditions plus humides que celles qui prévalent aujourd'hui dans la région. En revanche, il est très difficile de se prononcer sur les températures impliquées par cet assemblage. Elles sont certainement au moins équivalentes à l'actuel, mais la rareté des taxons franchement méridionaux est notable. Par ailleurs, les études

menées sur la recolonisation des territoires périglaciaires à la charnière Tardiglaciaire weichselien/Holocène ont montré que la diversification des faunes et l'arrivée des thermophiles sont plus conditionnées par la durée et la stabilité des environnements que par la seule remontée des températures (Limondin-Lozouet, 2002).

6 - LES FAUNES D'OSTRACODES

Les ostracodes ont été extraits des mêmes échantillons que les malacofaunes et les premiers résultats obtenus concernent le profil S2 (fig. 10).

Cette coupe a livré une faune souvent riche et peu diversifiée que nous avons étudiée en nous référant principalement à l'ouvrage de Meisch (2000) pour l'identification et les données de terrain et à diverses publications pour l'interprétation de ces faunes (Carbonel *et al.*, 1988 ; Danielopol, 1990 ; Danielopol & Handl, 1990 ; Geiger, 1990). Six espèces ont été reconnues qui sont toutes des formes d'eaux permanentes.

Cavernocypris subterranea (Wolf) est une espèce sténotherme froide (6-12°C) et calciphile, dont le préférendum écologique se situe dans les sources, le plus souvent en connexion avec le système phréatique (faune stygophile). Elle préfère des eaux peu agitées, mais pas stagnantes (Meisch, 2000).

Potamocypris zschokkei (Kaufmann) a des caractéristiques écologiques comparables à celles de l'espèce précédente, avec une rhéophilie plus nette.

Pseudocandona albicans (Brady) vit dans des eaux mésothermes peu agitées (mésorhéophiles) sur des substrat limoneux, également en relation avec le milieu phréatique. Elle est peu sensible à la teneur en calcium.

Pseudocandona compressa (Koch) vit dans des eaux mésothermes peu agitées (oligorhéophiles) et calciphiles.

Ilyocypris gibba (Ramdohr) est une espèce nageuse et d'une manière générale, très adaptable (euryplastique).

Herpetocypris reptans (Baird) est une espèce herbivore calciphile, eurytherme et mésorhéophile.

La faune est développée surtout à la base (plus de 6000 individus) du profil et dominée par les espèces stygophiles (vivant aussi bien en eaux souterraines s.l. qu'en eaux libres) *Cavernocypris subterranea* et *Potamocypris zschokkei*. Dans les échantillons 30 à 36, il n'y a pas d'ostracodes (fig. 10). De 37 à 39, on observe un changement complet, la faune redevient un peu plus

Fig. 9 : Malacofaunes de La Celle, exemples d'espèces éteintes ou hors de leur aire de répartition géographique actuelle qui font partie de « l'assemblage à *Lyrodiscus* ».

A, *Aegopinella bourdieri* Rousseau & Puisségur, 1989, échelle 1 mm ; B, *Platyla polita* (Hartmann, 1840), échelle 1 mm ; C, *Bradybaena chouquetiana* (Tournouër, 1877), échelle : 5 mm ; D, *Candidula radigueli* (Bourguignat, 1869), échelle : 5 mm, Coll. Tournouër MNHN ; E, *Macrogastera ventricosa* (Draparnaud, 1801), échelle : 5 mm ; F ; *Ruthenica filograna* (Rossmässler, 1836), échelle : 5 mm, G, *Hygromia limbata* (Draparnaud, 1805), échelle : 5 mm ; H, *Aegopsis acieformis* (Klein, 1846), échelle : 5 mm. Photos P. Lozouet.

A part le spécimen D, toutes les coquilles sont conservées dans la collection Munier-Chalmas, Université de Paris VI.

La validité de l'espèce *Bradybaena chouquetiana* demande à être discutée il n'est pas exclu qu'elle soit une simple variété de *B. fruticum*. La *Candidula radigueli* peut en l'état actuel des études être mise en synonymie avec *Candidula crayfordiensis* Kennard & Woodward, 1915.

Fig. 9: Malacofaunas from La Celle, extinct species and taxa beyond their modern range belonging to the « Lyrodiscus assemblage ». A to H see details before. Except specimen D, all shells are from the Munier-Chalmas collection, Paris VI University. Taxonomic status of *Bradybaena chouquetiana* has yet to be discussed, this species might be a form of *B. fruticum*. *Candidula radigueli* is considered as a synonymous of *Candidula crayfordiensis* Kennard & Woodward, 1915.

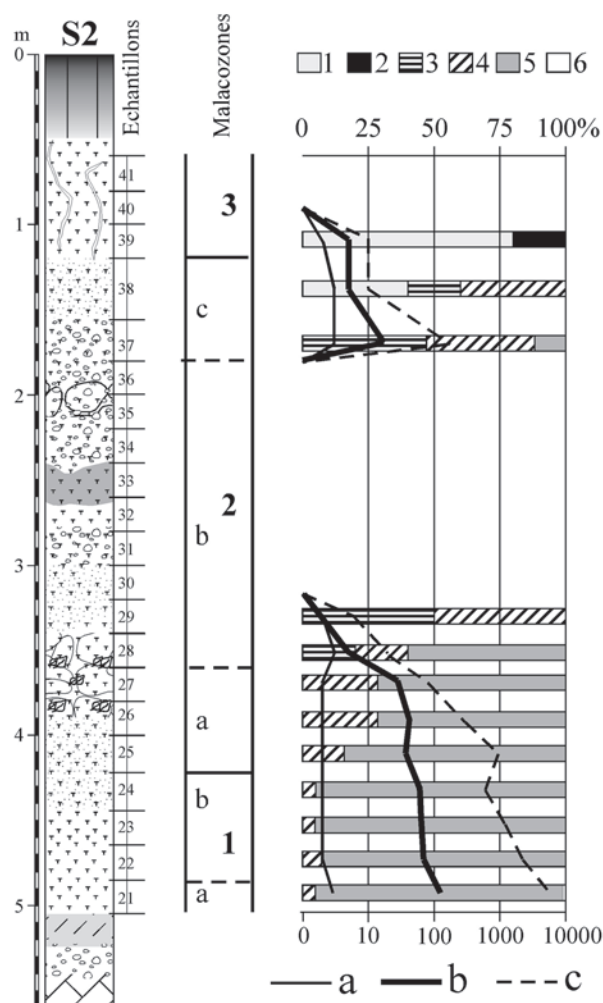


Fig. 10 : Répartition des espèces d'ostracodes dans le Sondage 2 de La Celle par rapport aux malacozones. 1 : *Pseudocandona albicans* ; 2 : *Ilyocypris gibba* ; 3 : *Pseudocandona compressa* ; 4 : *Potamocypris zschokkei* ; 5 : *Cavernocypris subterranea* ; 6 : *Herpetocypris reptans*. a : densité faunistique comptée ; b : densité faunistique totale calculée ; c : nombre d'espèces.

Fig. 10: Distribution of ostracod species from La Celle section S2 versus malacological zonation. 1 to 6: see before. a: calculated faunistical density; b: total faunistical density; c: number of species.

abondante et diversifiée (3 espèces) sans toutefois atteindre les densités observées à la base. Les espèces stygophiles deviennent minoritaires, elles sont remplacées par des espèces benthiques (vivant seulement en eaux libres) et nageuses (*Pseudocandona*, *Ilyocypris gibba*). En même temps, on assiste à la disparition de *Cavernocypris* et à son relais par *Potamocypris zschokkei*, plus plastique vis à vis de la teneur en calcium de l'eau. Le sommet de la coupe (40-41) est dépourvu d'ostracodes.

L'ostracofaune se développe en bonne corrélation avec la malacofaune (fig. 10). La zone 1a correspond au maximum de densité faunistique avec des herbiers. Cette faune perdure dans les zones 1b et 2a mais diminue en quantité. Il n'y a pas de variation majeure entre 1b et 2a, si ce n'est une augmentation de la densité faunistique, sans changement important du paléoenvironnement. Le passage à la zone 2b se marque par l'apparition des espèces benthiques. Le reste de cette

phase est caractérisé par la disparition des ostracodes. Ils réapparaissent dans la zone 2c avec une prédominance des benthiques par rapport aux stygophiles. La zone 3 est marquée par une réduction très forte de l'ostracofaune représentée par des espèces mesorhéophiles et des nageurs.

En résumé, les restes d'ostracodes découverts dans les échantillons de La Celle sont caractéristiques d'eaux froides, riches en calcium et relativement dynamiques, avec un milieu plus calme au sommet. Deux tendances sont observées. La première concerne les espèces stygophiles : *C. subterranea*, très largement majoritaire à la base est progressivement remplacée par *P. zschokkei*, espèce plus tolérante. L'autre tendance concerne les *Pseudocandona* où *P. albicans* succède à *P. compressa*, la première étant moins rhéophile que la seconde, ce qui souligne ce que montraient les espèces de source, à savoir un milieu légèrement plus agité à la base que vers le sommet du profil.

La distribution des faunes d'ostracodes est clairement corrélatrice du développement de milieux humides, voire marécageux, mis en évidence par les faunes de mollusques au cours des zones 1 et 2c (fig. 10). Ils disparaissent lorsque les biotopes forestiers se densifient et que les sols sont moins gorgés d'eau. Enfin, les espèces sont, au moins à la base, sténothermes froides, en relation à la connexion très étroite avec les eaux phréatiques.

7 - LE NIVEAU ARCHÉOLOGIQUE

Lors de la création des profils le long du versant, le niveau de limon gris tufacé (lgt) qui contient les restes archéologiques est apparu à la base du talus. Cette position sensible à l'érosion a motivé la réalisation d'une fouille de sauvegarde sur une vingtaine de mètres carrés (fig. 11). Au total ce sont 66 vestiges comprenant 57 ossements et neuf éléments lithiques qui ont été découverts.

7.1 - LA FAUNE DE MAMMIFÈRES

La série osseuse de La Celle est composée de cinq taxons (fig. 12). Les restes de cerf et de cheval, respectivement les plus nombreux, sont en cours d'étude et conservent provisoirement une appellation générique *Cervus* sp. et *Equus* sp. Le Macaque est représenté par une dent, qui permet de l'identifier à l'espèce actuelle, *Macaca sylvanus*, connue en Europe occidentale depuis le Pliocène et récurrente durant les phases tempérées du Pléistocène moyen (Lanèque, 1996). Sa dernière apparition en Europe du Nord-Ouest est contemporaine du stade isotopique 9, en particulier en Angleterre (Schreve *et al.*, 2002). L'hippopotame de la Celle, identifié à partir d'un métatarsien, diffère peu de l'hippopotame actuel, mais s'apparente mieux avec l'espèce présente durant la seconde partie du Pléistocène moyen, *Hippopotamus incognitus* (Faure, 1985). Cet animal apparaît durant le Cromérien et disparaît

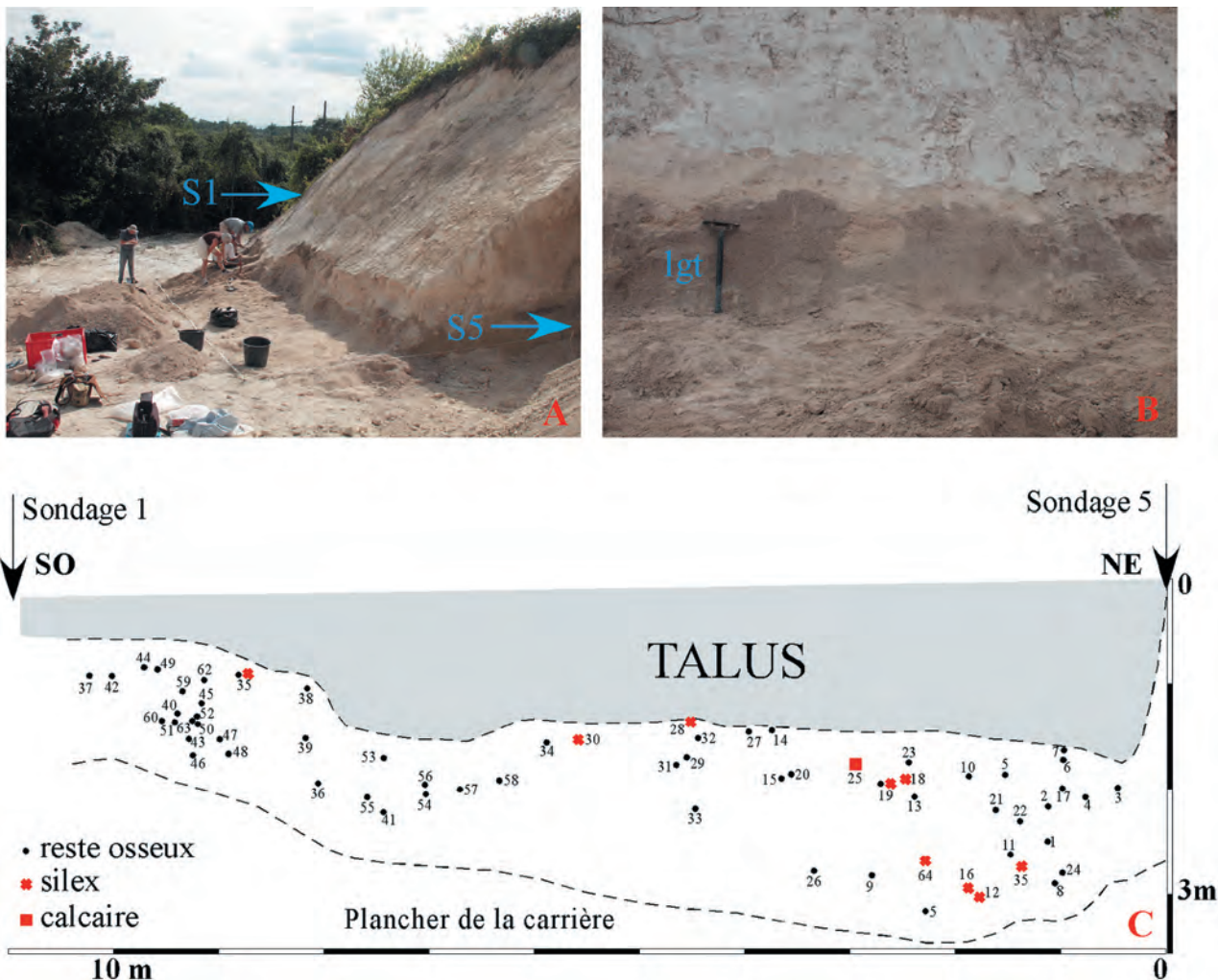


Fig. 11 : A. Fouilles de sauvetage du niveau lgt à La Celle. B. Détail du niveau de limon gris tufacé. C. Plan de la fouille avec position des vestiges récoltés.

Fig. 11: A. Excavation of lgt level at La Celle. B. Detail of the grey silty tufa level. C. Map of the excavation with location of artefacts.

avant le début du Weichsélien. Enfin, le cinquième taxon est représenté par la canine inférieure d'un petit carnivore qui n'est cependant pas suffisamment diagnostique pour permettre une attribution taxinomique.

L'association mammalienne mise en évidence dans le niveau lgt montre une grande cohérence d'un point de vue environnemental et climatique. Ainsi, le cerf, quelle que soit son attribution spécifique, est plutôt un animal de contexte tempéré évoluant dans un milieu à dominante forestière. Le cheval en revanche présente une grande variété de formes durant le Pléistocène et peut être recensé dans des milieux divers et sous des climats très différents. La forme présente à La Celle s'apparente préférentiellement aux chevaux de l'interglaciaire contemporain du stade 11, indiquant un milieu de type prairie sous un climat clémente. Ce type de cheval se rencontre par exemple dans le gisement de Cagny-la-Garenne (Somme) dont l'âge est comparable et dans les gisements anglais attribués à l'Hoxnien (Eisenmann, 1991). Le Macaque par contre ne se rencontre jamais en contexte froid, même si ses exigences du point de vue écologique sont moins contraignantes (milieu ouvert ou boisé). Il témoigne très probablement d'une phase tempérée marquée, survenue au cours du

Pléistocène moyen, mais antérieure ou équivalente au stade isotopique 9. L'Hippopotame est traditionnellement un marqueur de zones humides impliquant la proximité d'un cours d'eau ou d'une zone aquatique. Il n'est pas forcément un indicateur de contexte tempéré, mais est toutefois absent durant les phases pléni-glaciaires.

Ces quatre taxons associés renvoient l'image d'un milieu mixte, composé de zones découvertes de type prairie et d'espaces boisés assez conséquents, souvent observé lors des phases tempérées du Pléistocène moyen en Europe du Nord-Ouest (Auguste, 1995).

7.2 - L'INDUSTRIE LITHIQUE

Le petit ensemble lithique mis au jour en 2003 se compose de neuf pièces en silex dont trois éclats corticaux, quatre non corticaux, un fragment et un casson.

Sur un plan techno-économique, les neuf éclats se rattachent à des phases de préparation et de production. L'étude des caractères techniques des différentes pièces montre que trois éclats s'intègrent dans des phases d'extraction unipolaire. Seul un éclat de profil courbe

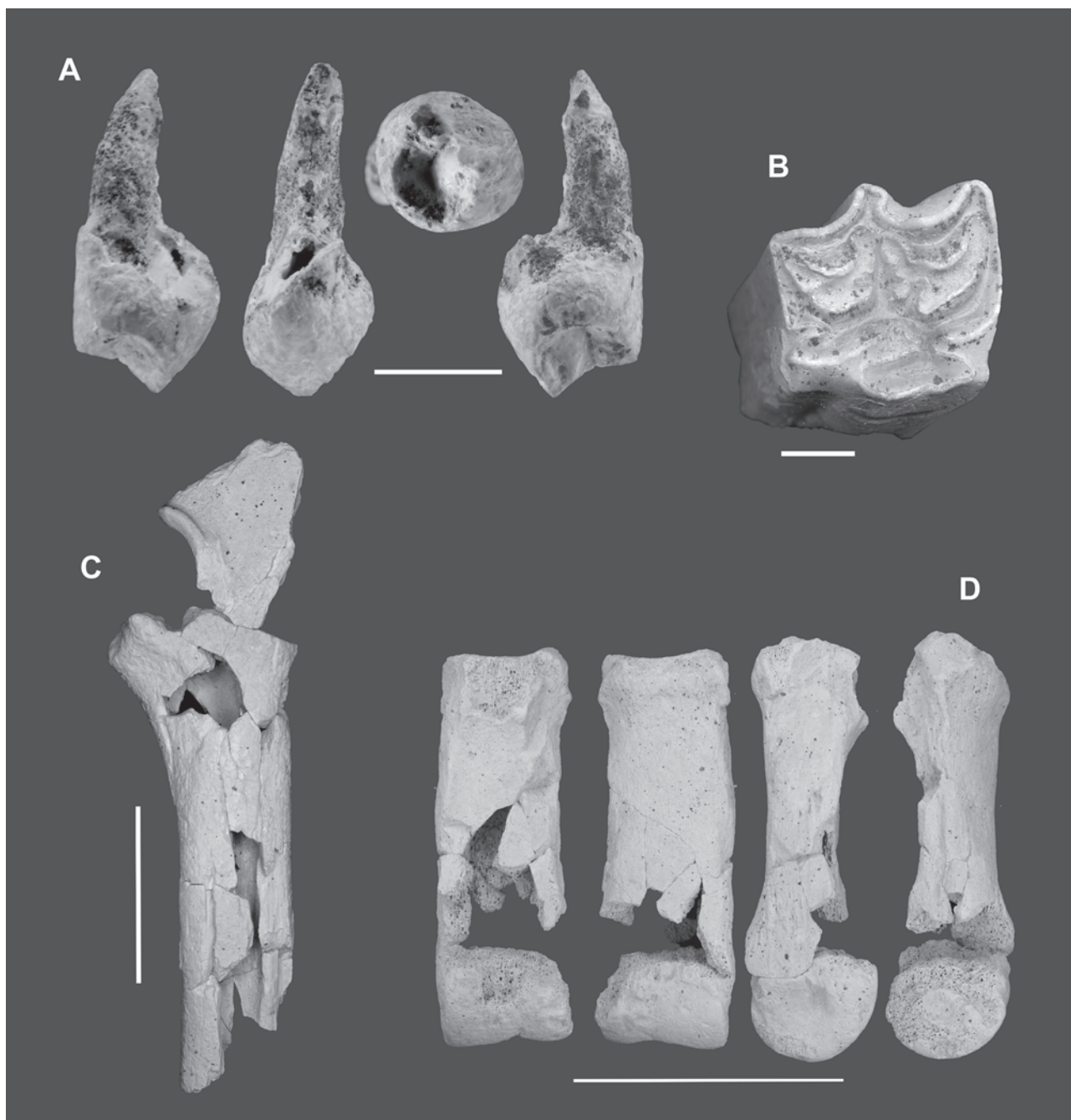


Fig. 12 : Mammifères de La Celle. A, *Macaca sylvanus*, (n° 51), quatrième prémolaire supérieure gauche, échelle 5 mm ; B, *Equus* sp., (n° 15), troisième ou quatrième prémolaire supérieure droite, échelle 1 cm ; C, *Cervus* sp., (n° 17), radio-ulna droit, échelle 5 cm ; D, *Hippopotamus* cf. *incognitus*, (n° 23), métatarsien IV gauche, échelle 5 cm. Photos P. Lozouet.

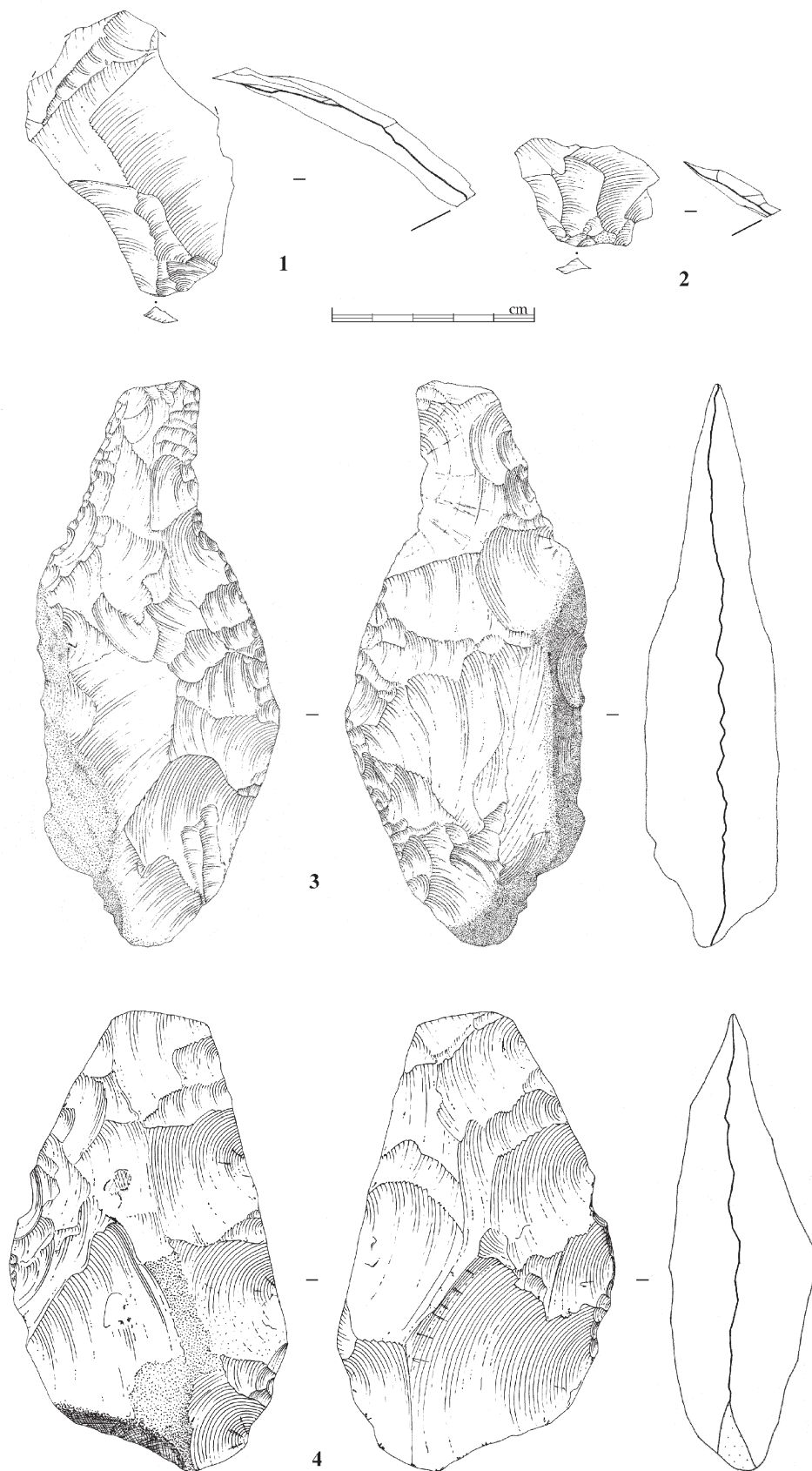
Fig. 12: Mammals from La Celle. A, Macaca sylvanus, (n° 51), left fourth upper premolar, scale bar 5 mm; B, Equus sp., (n° 15), right third or fourth upper premolar, scale 1 cm; C, Cervus sp., (n° 17), right radio-ulna, scale bar 5 cm; D, Hippopotamus cf. incognitus, (n° 23), left fourth metatarsal, scale bar 5 cm. Photos P. Lozouet.

s'intègre dans une phase d'extraction convergente et présente les caractéristiques du façonnage bifacial (fig. 13, n° 1). Les talons des autres éclats sont également lisses et assez ouverts par rapport à la face d'éclatement (fig. 13, n° 2). L'ensemble lithique mis au jour en 2003 présente donc une certaine cohérence dans ses caractéristiques techniques et peut s'intégrer dans une industrie lithique à production bifaciale, ce qui en l'état actuel des données semble en adéquation tant avec les découvertes anciennes qu'avec l'âge du site.

En effet, les découvertes archéologiques anciennes dans les tufs de La Celle montrent à plusieurs niveaux

la présence de pièces bifaciales (Collin *et al.*, 1895). Les auteurs, sur un ensemble de 32 pièces, décrivent des bifaces de bonnes dimensions, assez épais, à réserve corticale et de forme globalement amygdaloïde.

Deux bifaces conservés au Musée des Antiquités Nationales de Saint-Germain-en-Laye (fig. 13, n° 3 et 4) présentent les mêmes états de surface et d'altération que le petit ensemble de 2003. Ainsi, les découvertes récentes s'inscrivent dans la continuité des travaux anciens et démontrent que la fréquentation du site par des populations acheuléennes a été contemporaine de l'édification du tuf.



**Fig. 13 : La Celle, industrie lithique. 1– pièce n°12 éclat de façonnage ; 2 – pièce n° 28 éclat large ; 3 et 4 – bifaces découverts à la fin du XIX^{ème} siècle (référéncés 62 381 et 119 P69bis) conservés au Musée des Antiquités Nationales de Saint-Germain-en-Laye (dessins V. Lhomme).
 Fig. 13: La Celle, lithic industry. 1– artefact n° 12 bifacial shaping flake; 2 – artefact n° 28 short flake; 3 and 4 – handaxes discovered at the end of the XIXth century (62 381 and 119 P69bis) from the Musée des Antiquités Nationales de Saint-Germain-en-Laye collection (drawings V. Lhomme).**

8 - SYNTHÈSE ET DISCUSSION

8.1 - PALÉOENVIRONNEMENT

Au début de la formation du tuf, les faunes d'ostracodes indiquent un milieu d'eaux froides permanentes relativement dynamiques et très calciques. La caractéristique stygophile des ostracofaunes indique des eaux très liées au système phréatique. Les biotopes qui se développent aux abords des résurgences de sources sont ouverts et marécageux d'après les populations de mollusques. La composition des assemblages contient cependant suffisamment d'éléments thermophiles pour identifier la phase initiale d'un réchauffement climatique. Après ce premier épisode, les malacofaunes révèlent la mise en place progressive d'habitats forestiers. L'installation de zones boisées génère des sols moins humides, mieux drainés, peu favorables aux ostracodes. Les premiers éléments de corrélation biostratigraphique basées sur les malacozones montrent que l'accumulation des tufs se fait d'abord verticalement, en contrebas des résurgences de source, puis dès 1,5 m d'épaisseur (fig. 8 : fin de la malacozone 2a), les dépôts carbonatés progradent également vers le bas du versant. L'expansion de la couverture arborée connaît parfois des reculs ponctuels qui permettent alors la réapparition de points marécageux où des ostracofaunes de milieu plus calme se réinstallent (fig. 10 : Malacozone 2c du profil S2). Ces biotopes restent cependant sporadiques et n'affectent pas le processus plus général de développement du couvert forestier. L'intervalle culminant de cette évolution est interprété comme la réponse environnementale à l'optimum climatique interglaciaire. Il se corrèle de manière générale à la zone malacologique 3, la plus riche en espèces forestières, et plus particulièrement au niveau de limon gris tufacé (lgt) auquel correspond un pic de développement qualitatif et quantitatif des populations de mollusques. Cet horizon se développe dans un contexte qui connaît des épisodes d'instabilité. Le sondage S1 montre en effet que le niveau lgt repose sur un dépôt de colluvions caillouteuses dont la mise en place peut soit précéder de peu celle du lgt, soit se situer durant la première phase d'expansion du couvert forestier, c'est à dire avant le début de l'accumulation du tuf à la base du sondage S5 qui correspond au passage des malacozones 2a à 2b (fig. 8). L'étude micromorphologique du niveau lgt démontre qu'il correspond à un horizon cumulique, alimenté par un colluvionnement lent, bioturbé au fur et à mesure de sa formation. Ceci implique un phénomène de déplacement faible mais constant qui a affecté en partie les coquilles de mollusques dont les plus grandes en taille sont brisées mais non usées. Parallèlement, les restes de mammifères, fossilisés par les apports sédimentaires faibles mais réguliers, ne sont pas altérés. L'interprétation paléoenvironnementale et climatique tirée du cortège mammalogique s'accorde avec les conclusions malacologiques. Les mammifères renvoient en effet l'image d'un paysage mixte de

bordure de rivière composé de prairies humides et de boisements denses sous un climat tempéré.

La répartition stratigraphique des empreintes foliaires manque de précision, toutefois dans les anciennes publications les occurrences des taxons arborés les plus méridionaux « couches à *Acer*, *Buxus*, *Ficus* et *Laurus* » sont décrites de l'assise de tuf induré dans la moitié supérieure de la formation (Tournouër, 1877 ; Munier-Chalmas, 1903). Si les coupes actuelles ne permettent pas d'établir des correspondances lithologiques précises avec les relevés de la fin du 19^{ème} siècle, en revanche, la comparaison des données malacologiques apportent des éléments de corrélation entre les dépôts. Dans la partie inférieure des anciens profils est signalé un niveau argileux à « *Helix chouquetiana* et *Cyclostoma elegans* » (Tournouër, 1877 ; Munier-Chalmas, 1903 ; Jodot, 1907) ; or l'apparition de cette dernière espèce (*Pomatias elegans*) dans les séquences récentes est un des critères de définition de la base de la malacozone 3, qui précède de peu le niveau lgt (figs. 6 et 7). Ainsi, le banc de tuf induré à flore tempérée des anciens auteurs peut-il être considéré comme une variation latérale de faciès des couches sus-jacentes au niveau lgt et qui contiennent les malacofaunes de la zone 3 à forte composante forestière. L'ensemble des empreintes foliaires permet à l'instar des faunes de mollusques et de mammifères, de décrire un milieu boisé se développant sous des conditions climatiques interglaciaires.

Enfin la partie supérieure de la séquence est constituée par un dépôt de tuf sableux, jaune pâle aisément repérable sur les profils S5 et S1 (fig. 3). Cette unité correspond à la malacozone 4 caractérisée par des faunes de milieu beaucoup plus ouvert mais néanmoins humide où la végétation ligneuse subsiste en bosquets. Dans les anciennes coupes, l'unité sommitale des profils est décrite comme un tuf friable à Succinées (Tournouër, 1877 ; Munier-Chalmas, 1903) directement corrélable à ce niveau.

8.2 - PALÉOBIOGÉOGRAPHIE ET PALÉOCLIMAT

L'attribution du tuf de La Celle à l'interglaciaire correspondant au stade 11 de la chronologie isotopique océanique est maintenant bien argumentée. Les trois premières mesures radiométriques sur tuf et sur dent de cheval sont en accord avec cet intervalle de temps. Par ailleurs, l'assemblage malacologique à *Retinella* (*Lyrodiscus*) est également un argument de poids pour conforter cette datation. Cette malacocénose très particulière est bien identifiée sur de nombreux sites du Nord de la France et du Sud-Est de la Grande-Bretagne pour lesquels l'attribution au SIM 11 est corroborée par diverses sources (Kerney, 1959, 1976 ; Rousseau *et al.*, 1992 ; Preece *et al.*, 2000 ; Limondin-Lozouet & Antoine, 2006). La nouvelle occurrence de cette faune de mollusques à La Celle renforce sa valeur de repère chronologique.

D'un point de vue environnemental et climatique, cet assemblage malacologique, riche en espèces aujourd'hui

d'hui disparues ou de répartition géographique différente (océanique à centre européenne), implique des conditions tempérées et sensiblement plus humides que l'actuel. Précédemment, cette malacofaune très particulière a été associée à l'occurrence de plusieurs taxons végétaux d'affinités méditerranéennes pour décrire le « biome à *Lyrodiscus* », caractéristique des tufs holsteiniens du Nord-Ouest de l'Europe, et interprété comme représentatif d'un climat océanique plus tempéré que celui de l'Holocène (Rousseau, 1992). Les données récentes acquises sur les malacofaunes du stade 11 à Saint-Acheul ont donné lieu à une révision systématique des espèces liées au sous-genre *Lyrodiscus* et conduit à une réactualisation de la composition de l'assemblage malacologique à *Lyrodiscus* ainsi que de son occurrence spatio-temporelle (Limondin-Lozouet & Antoine, 2006). En particulier, l'espèce méditerranéenne *Hygromia cincitella* a été remplacée par sa congénère *H. limbata* dont la répartition actuelle est plus large et océanique. L'assemblage à *Lyrodiscus*, tel qu'il est redéfini après révision, se rapporte aux malacofaunes des tufs holsteiniens du Nord de la France et du Sud-Est de la Grande-Bretagne dans lesquelles *R. (L.) elephantium* présente sa forme à ombilic large (Limondin-Lozouet & Antoine, 2006).

Avec la révision des flores de La Celle, c'est la liste spécifique des taxons végétaux du biome qui doit maintenant être réactualisée. En effet, plusieurs des espèces diagnostiques de ce biome, d'origine méditerranéenne et tropicale (*Laurus canariensis*, *L. nobilis* var. *canariensis*, *Cercis siliquastrum*, *Cerasus mahaleb*, *Viburnum tinus*), n'ont pas été retenues dans la liste floristique récente de La Celle (tab. 3 et Jolly-Saad *et al.*, 2006). Actuellement, trois taxons d'affinités méditerranéenne sont reconnus dans les empreintes foliaires du gisement (*Buxus sempervirens*, *Ficus carica* et *Celtis australis*). Parmi les autres tufs du stade 11 recensés dans la région, seul celui de Vernon a également livré des restes de flore incluant *Buxus sempervirens* et *Ficus carica* (Bourdier, 1969). Ainsi après les révisions taxinomiques de La Celle et des autres sites holsteiniens du Nord-Ouest de l'Europe (Limondin-Lozouet & Antoine, 2006 ; Preece *et al.*, sous presse), le « biome à *Lyrodiscus* » comprend l'assemblage malacologique à *Retinella (Lyrodiscus) elephantium* et trois taxons arboréens méditerranéens (*Buxus*, *Ficus* et *Celtis*). L'origine de ce biome, localisée en Europe et en Afrique du Nord-Ouest durant le Tertiaire (Rousseau, 1992) n'est pas remise en cause. En revanche, il convient de s'interroger sur la signification environnementale et climatique de cette association particulière de faune et de flore. La plupart des espèces de mollusques constituant l'assemblage à *Lyrodiscus* renvoient en effet à la reconstitution d'un milieu boisé et humide, suivant ainsi la première interprétation proposée (Rousseau, 1992). Par contre le caractère climatique plus chaud que l'actuel évoqué alors, n'est plus corroboré par la diversité des taxons arboréens méridionaux ni par l'occurrence du taxon d'origine tropicale *Laurus canariensis* (Rousseau, 2003). Les arbres recensés à La

Celle et Vernon sont capables de supporter des hivers comparables à ceux que nous connaissons aujourd'hui dans les régions considérées. Leur occurrence dans la vallée de la Seine qui implique une dispersion naturelle vers le nord bien plus étendue que durant l'Holocène est cependant notable. Leur présence est peut-être plus à mettre en relation avec la longueur de l'Interglaciaire holsteinien et des contrastes saisonniers moins accusés, mis en évidence par les climatologues (Doxler *et al.*, 2003 ; Loutre & Berger, 2003), plutôt qu'avec une hausse des températures. Cette interprétation trouve un écho dans plusieurs études récentes sur l'analogie du climat des interglaciaires pléistocènes par rapport à l'actuel qui s'appuie sur une forte similitude entre l'Holsteinien et l'Holocène (en particulier pour ce qui concerne les configurations astronomiques) tout en soulignant l'exceptionnelle durée du SIM 11 (Berger & Loutre, 2003 ; Loutre & Berger, 2003 ; Kukla, 2003 ; Ruddiman, 2005). Globalement les enregistrements continentaux rapportés à l'Holsteinien permettent de reconstituer des conditions climatiques le plus souvent similaires à l'actuel, fréquemment décrites comme plus humides et, rarement, plus tempérées (Kukla, 2003 ; Rousseau, 2003).

9 - CONCLUSION

Ces nouvelles recherches effectuées à La Celle dans le cadre du programme SITEP, font d'ores et déjà apparaître ce site comme une référence de premier ordre pour la reconstitution des milieux continentaux durant le stade 11 dans le Nord-Ouest de l'Europe. La diversité des assemblages fossiles préservés et l'exceptionnelle puissance stratigraphique du dépôt ouvrent des possibilités d'enregistrement paléoenvironnemental et climatique d'une précision rarement atteinte en domaine terrestre. La découverte dans ce contexte biostratigraphique riche, d'un niveau d'industrie préhistorique, est aussi de première importance car il constitue avec Cagny-la-Garenne (Somme) et l'Arago (Pyrénées-Orientales) les trois seules références d'occupations humaines en place pour les premières industries à pièces bifaciales de France.

Les premiers résultats montrent que le tuf s'est édifié graduellement depuis le sommet du versant vers l'aval et qu'il s'inscrit dans une séquence environnementale indiquant le développement progressif des biotopes forestiers, puis leur régression. Par ailleurs, la révision de la liste de flore, les données malacologiques et les nouvelles découvertes de macrofaune vertébrée apportent un éclairage nouveau sur la composition du paysage contemporain de l'optimum climatique. L'occurrence du genre *Hippopotamus*, recensé pour la première fois en Europe du Nord-Ouest pendant le stade 11, est à souligner. La discussion sur la signification climatique du biome à *Lyrodiscus* n'est ici qu'abordée et devrait pouvoir s'appuyer sur de nouveaux éléments avec le développement de reconstruction quantifiées des paramètres climatiques à partir des

assemblages malacologiques (méthode des fonctions de transfert) et d'études isotopiques sur les tufs. L'attribution chronologique est maintenant solidement appuyée sur les résultats des trois premières mesures radiométriques. Il reste cependant à dater la formation de la nappe alluviale sous-jacente au tuf (RPE sur quartz), mais également à comparer ces données avec les prochains résultats des études sur les acides aminés des coquilles de mollusques.

REMERCIEMENTS

La Municipalité de Vernou-La-Celle-sur-Seine ainsi que le Conseil Général de Seine-et-Marne ont beaucoup facilité la mise en place du nouveau projet d'étude scientifique du gisement par leur aide logistique et financière. Le Service Régional de l'Archéologie de la région IdF a soutenu efficacement cette action. Nous tenons à remercier Jean-Michel Dolo (LNHB) pour les irradiations ; la région IdF pour l'acquisition du spectromètre RPE du Département de Préhistoire du MNHN ; Rainer Grün pour le programme de calcul des âges RPE/U-Th combiné. Jean-Pierre Bellier et Gérard Brusseau ont permis un accès très ouvert à la collection Munier-Chalmas de l'Université de Paris VI, Jussieu. Jean-Michel Pacaud a obligeamment mis à disposition la collection Tournouër (MHNN, Paris) et Denis-Didier Rousseau celle de J.J. Puisségur (Université de Montpellier). Nous remercions les deux relecteurs, Jean Sommé et Denis-Didier Rousseau pour leurs corrections et commentaires. Cet article est une contribution au projet SITEP du programme *Eclipse II* du CNRS-INSU.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ALIMEN H., 1957 - A propos de l'âge du tuf de la Celle-sous-Moret (Seine-et-Marne). *Compte-rendu sommaire des Séances de la Société Géologique de France*, 11-12, 220-222.
- ANTOINE P., & LIMONDIN-LOZOUET N., 2004 - Identification of stage 11 Interglacial tufa deposit in the Somme valley (France) : new results from the Saint-Acheul fluvial sequence. *Quaternaire*, 15, 41-52.
- AUGUSTE P., 1995 - *Cadres biostratigraphiques et paléocéologiques du peuplement humain dans la France septentrionale durant le Pléistocène. Apports de l'étude paléontologique des grands mammifères du gisement de Biache-saint-Vaast (Pas-de-Calais)*. Thèse de Doctorat du Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris, 5 vol., 724 p.
- BAHAIN J.J., YOKOYAMA Y., FALGUÈRES C., & SARCIA M.N., 1992 - ESR dating of tooth enamel : a comparison with K-Ar dating. *Quaternary Science reviews*, 11, 245-250.
- BAHAIN J.-J., SARCIA M.N., FALGUÈRES C., & YOKOYAMA Y., 1993 - Attempt at ESR dating of tooth enamel of French middle Pleistocene sites, *Applied Radiation and Isotopes*, 44, 267-272.
- BAHAIN J.-J., LAURENT M., FALGUÈRES C., VOINCHET P., FARKH S., & TISSOUX H., 2002 - Datation par résonance paramagnétique électronique (RPE) des formations fluviales pléistocènes et des gisements archéologiques ou paléontologiques associés. *Quaternaire*, 13, 91-103.
- BERGER A., & LOUTRE M.F., 2003 - Climate 400,000 years ago, a key to the future ? In A.W. Droxler, R.Z. Poore & L.H. Burckle (eds), *Earth's climate and orbital eccentricity. The marine Isotope stage 11 question*. Geophysical Monograph Series 137, AGU, Washington, 17-26.
- BOURDIER F., 1961 - Sur l'âge des tufs de la Celle-sur-Seine. *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la vallée du Loing*, 37 (3/4), 42-43.
- BOURDIER F., 1969 - Excursion dans le bassin de Paris (INQUA) - Etude comparée des dépôts quaternaires des bassins de la Seine et de la Somme. *Bulletin d'information des Géologues du Bassin de Paris*, 21, 169-231.
- BOURDIER F., CHALINE J., & PUISSEUR J.J., 1969 - Données nouvelles sur les mollusques et les micromammifères quaternaires des régions d'Amiens et de Paris. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences*, 268, 266-269.
- CAPDEVILLE J., 1959 - Résumé : Etude paléobotanique du tuf de la Celle-sous-Moret (Seine-et-Marne). *Bulletin de l'Association des Naturalistes de la vallée du Loing*, 35, 55-60 ; 75-76 ; 97-99 ; 116-117.
- CARBONEL P., COLIN J.-P., DANIELOPOL D.L., LÖFFLER H., & NEUSTRUEVA I. Y., 1988 - The paleoecology of limnic ostracoda. A review of some major topics. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 62, 413-461.
- CHALINE J., 1972 - *Le Quaternaire*. Ed. Doin, Paris, 338 p.
- CHAUSSE C., 2003 - Les nappes alluviales de la basse vallée de l'Yonne, approche géométrique et chronostratigraphique. L'apport de l'étude de la Nappe de Soucy à la compréhension des occupations du Paléolithique inférieur de Soucy. Thèse de Doctorat de l'Université de Lille 1, 2 tomes, 444 p.
- COLLIN E., REYNIER & MORTILLET de A., 1895 - Découverte de silex taillés dans les tufs de la Celle-sous-Moret. *Revue Mensuelle de l'École d'Anthropologie*, 5, 318 - 322.
- DANIELOPOL D.L., 1990 - On the interest of the « Cytherissa project » and on the present state of researches. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, 47-48, 15-26.
- DANIELOPOL D.L., & HANDL M., 1990 - On the carapace preservation of *Cytherissa lacustris* : its possible usage for paleoecological reconstructions. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, 47-48, 239-246.
- DROXLER W., POORE R.Z., & BURCKLE L.H. (Eds), 2003 - *Earth's climate and orbital eccentricity. The marine isotope stage 11 question*. Geophysical Monograph Series 137, AGU, Washington, 240 p.
- EISENMANN V., 1991 - Les chevaux quaternaires européens (*Mammalia, Perissodactyla*). Taille, typologie, biostratigraphie et taxonomie. *Geobios*, 24 (6), 747-759.
- FAURE M., 1985 - Les Hippopotames quaternaires non-insulaires d'Europe occidentale. *Nouvelles Archives du Muséum d'Histoire Naturelle de Lyon*, 23, 13-79.
- FREYTTET P., 1998 - Non-marine, Permian to Holocene algae from France and adjacent countries. Part II. *Annales de Paléontologie*, 84 (1), 3-51.
- FRITEL P.H., 1910 - *Guide géologique et paléontologique de la région parisienne*. ed. Deyrolles, Paris, 356 p.
- GEIGER W., 1990 - The role of oxygen in the disturbance of the *Cytherissa lacustris* population in Mondsee. *Bulletin de l'Institut de Géologie du Bassin d'Aquitaine*, 47-48, 167-190.
- GRÜN R., & SCHWARCZ H.P., 2000 - Revised open system U-series/ESR age calculations for teeth from Stratum C at the Hoxnian Interglacial type locality, England. *Quaternary Science reviews*, 19, 1151-1154.
- JODOT P., 1907 - Excursion aux carrières de tufs quaternaires de la Celle-sous-Moret (Seine-et-Marne). *Bulletin de la Société des Naturalistes Parisiens*, 4, 1-12.
- JODOT P., 1908 - Note sur la faune conchyliologique des tufs quaternaires de la Celle-sous-Moret (Seine-et-Marne). *Comptes-rendus de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences Clermont-Ferrand*, 425-430.
- JOHN D.H., WHITTON B.A., & BROOK A.J., 2005 - *The freshwater algal flora of the British Isles*. Cambridge University Press, Cambridge UK, 3rd ed., 702 p.
- JOLLY-SAAD M.C., DUPERON M., & DUPERON J., 2006 - Nouvelle étude des empreintes foliaires des tufs holsteiniens de La Celle-sous-Moret (Seine-et-Marne). *Palaeontographica B*, sous presse.
- KERNEY M.P., 1959 - An interglacial tufa near Hitchin, Hertfordshire. *Proceedings of the Geologists' Association*, 70, 322-337.
- KERNEY M.P., 1976 - Mollusca from an interglacial tufa in East Anglia, with the description of a new species of *Lyrodiscus* Pilsbry (Gastropoda : Zonitidae). *Journal of Conchology*, 29, 47-50.
- KERNEY M.P., CAMERON R.A.D., & JUNGBLUTH J.H., 1983 - *Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas*. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 384 p.

- KUKLA G., 2003** - Continental records of MIS 11. In A.W. Droxler, R.Z. Poore & L.H. Burckle (eds), *Earth's climate and orbital eccentricity. The marine Isotope stage 11 question*. Geophysical Monograph Series 137, AGU, Washington, 207-211.
- LANEQUE L., 1996** - Les Primates non humains. In C. Guérin et M. Patou-Mathis (dir.) « *Les grands Mammifères plio-pléistocènes d'Europe* », Paris, Masson, 21-31.
- LAPPARENT de A., 1900** - *Traité de Géologie*. 4ème ed., Paris, 1911 p.
- LAUTRIDOU J.P., AUFFRET J.P., BALTZER A., CLET M., LÉCOLLE F., LEFEBVRE D., LERICOLAIS G., ROBLIN-JOUVE A., BALESCU S., CARPENTIER G., DESCOMBES J.C., OCCHIETTI S. & ROUSSEAU D.D., 1999** - Le fleuve Seine, le fleuve Manche. *Bulletin de la Société Géologique de France*, **170** (4), 545-558.
- LIMONDIN N., 1995** - Late-Glacial and Holocene Malacofaunas from Archaeological Sites in the Somme Valley (North France). *Journal of Archaeological Science*, **22**, 683-698.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2001** - Une malacofaune nouvelle du Pléistocène moyen à Soucy (Yonne, France) : biogéographie et paléoécologie. *Géobios*, **34**, 303-313.
- LIMONDIN-LOZOUET N., 2002** - Impact des oscillations climatiques du Tardiglaciaire sur l'évolution des malacofaunes de fonds de vallée en Europe du Nord-Ouest. In : H. Richard et A. Vignot (dir) : *Équilibres et Ruptures des écosystèmes durant les 20 derniers millénaires en Europe de l'Ouest*, Actes du Colloque international de Besançon, septembre 2000, Presses Universitaires Frac-Comtoises, Annales Littéraires 730, Série « Environnement, sociétés et archéologie », **3**, 45-51.
- LIMONDIN-LOZOUET N., & ANTOINE P., 2001** - Palaeoenvironmental changes inferred from malacofaunas in the Lateglacial and Early Holocene fluvial sequence at Conty (Northern France). *Boreas*, **30**, 148-164.
- LIMONDIN-LOZOUET N., & PREECE R.C. 2004** - Molluscan successions from the Holocene tufa of St-Germain-le-Vasson in Normandy, France. *Journal of Quaternary Science*, **19** (1), 55-71.
- LIMONDIN-LOZOUET N., GAUTHIER A., & PREECE R., 2005** - Enregistrement des biocénoses de la première moitié de l'Holocène en contexte tufacé à Saint-Germain-le Vasson (Calvados), *Quaternaire*, **16** (4), 255-271
- LIMONDIN-LOZOUET N., & ANTOINE P., 2006** - A new *Lyrodiscus* (Mollusca, Gastropoda) assemblage from Saint-Acheul (Somme Valley) : a reappraisal of MIS 11 malacofaunas from northern France. *Boreas*, sous presse.
- LOUTRE M.F., & BERGER A., 2003** - Marine isotope Stage 11 as an analogue for the present interglacial. *Global and Planetary Change*, **36**, 209-217.
- MEISCH C., 2000** - *Freshwater Ostracoda of western and central Europe*. Spektrum Akad Verlag GmbH, Heidelberg, 522 p.
- MEYRICK R.A., & PREECE R.C., 2001** - Molluscan successions from two Holocene tufas near Northampton, English Midlands. *Journal of Biogeography*, **28**, 77-93.
- MICHEL J.P., 1969** - Description du tuf de La Celle-sous-Moret. In F. Bourdier, A. Cailleux, F. Joly (dir.), *Somme, région parisienne*. Livret-guide de l'excursion A2, 8^e congrès INQUA, Paris, 68-70.
- MICHEL J.P., 1972** - *Le Quaternaire de la région parisienne*. Thèse de Doctorat, Université de Paris VI, 479 p.
- MUNIER-CHALMAS M., 1903** - Notice sur les travaux scientifiques de M. Munier-Chalmas. ed. Le Bigot, Lille, 119 p.
- PREECE R.C., & BRIDGLAND D.R., 1999** - Holywell Coombe, Folkestone : a 13,000 year history of an English chalkland valley. *Quaternary Science Reviews*, **18**, 1075-1125.
- PREECE R.C., LEWIS S.G., WYMER J.J., BRIDGLAND D.R., & PARFITT S.A., 2000** - Beeches Pit, West Stow, Suffolk (TL 798719). In Lewis, S.G., Whiteman, C.A., Preece, R.C. (eds) : *The Quaternary of Norfolk & Suffolk, Field Guide*. Quaternary Research Association, London, 185-195.
- PREECE R.C., PARFITT S.A., BRIDGLAND D.R., LEWIS S.G., CANDY I., GRIFFITHS H.I., WHITTAKER J.E., & GLEED-OWEN C.,** sous presse - The Hoxnian (Holsteinian) Interglacial and Palaeolithic site at West Stow, Suffolk, UK : the geological, faunal and dating evidence. *Quaternary Science Reviews*.
- PRESCOTT J.R., & HUTTON J.T., 1988** - Cosmic ray and gamma ray dosimetry for TL and ESR. *Nuclear Track and radiation Measurements*, **14**, 223-227.
- ROBLIN-JOUVE A., 1980** - Le paysage paléolithique de la vallée de la Seine de Corbeil à Bray-sur-Seine. Thèse 3e cycle de l'Université de Paris VII, 2 tomes, 205 p.
- ROBLIN-JOUVE A., 1989** - Tufts de La Celle. In F. Lécalle (ed), *Les tufts et travertins quaternaires des bassins de la Seine et de la Somme, et du littoral cauchois. Essai d'inventaire*. Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen, **37**, site n°16.
- ROBLIN-JOUVE A., & KERVAZO B., 1990** - Les tufts de la Celle-sur-Seine (Seine-et-Marne) Etude géologique. *Bulletin du Centre de Géomorphologie de Caen*, **38**, 111-129.
- ROUSSEAU D.D., 1992** - Is causal ecological biogeography a progressive research approach ? *Quaternary Science Reviews*, **11**, 593-601.
- ROUSSEAU D.D., 2003** - Continental record of stage 11 : a review. In A.W. Droxler, R.Z. Poore & L.H. Burckle (eds), *Earth's climate and orbital eccentricity. The marine Isotope stage 11 question*. Geophysical Monograph Series 137, AGU, Washington, 213-222.
- ROUSSEAU D.D., PUISSÉGUR J.J., & LÉCOLLE F. 1992** - West-European terrestrial molluscs assemblages of isotopic stage 11 (Middle Pleistocene) : climatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **92**, 15-29.
- RUDDIMAN W.F., 2005** - Cold climate during the closest Stage 11 analog to recent Millenia. *Quaternary Science reviews*, **24**, 1111-1121.
- SAPORTA de G., 1874** - Sur l'existence constatée du figuier aux environs de Paris à l'époque quaternaire. *Bulletin de la Société Géologique de France*, série **3**, t.2, 439-443.
- SAPORTA de G., 1876** - Sur la découverte du laurier dans les tufts de la Celle et le climat des environs de Paris à l'époque du diluvium gris. *Comptes-rendus de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences Clermont-Ferrand*, 640-654.
- SCHREVE D.C., BRIDGLAND D.R., ALLEN P., BLACKFORD J.F., GLEED-OWEN P., GRIFFITHS H.I., KEEN D.H., & WHITE M.J., 2002** - Sedimentology, palaeontology and archaeology of late Middle Pleistocene River Thames terrace deposits at Purfleet, Essex, UK. *Quaternary Science Reviews*, **21**, 1423-1464.
- TOURNOÛR R., 1874** - Note sur les coquilles des tufts quaternaires de La Celle, près Moret (Seine-et-Marne). *Bulletin de la Société Géologique de France*, série **3**, t.2, 443-452.
- TOURNOÛR R., 1877** - Note complémentaire sur les tufts quaternaires de La Celle, près Moret (Seine-et-Marne). *Bulletin de la Société Géologique de France*, série **3**, t.5, 646-671.