

Travertins actifs et fossiles dans le sud du Pays d'Auge (Basse-Normandie) *

*Active and fossil travertines
in the south of the Pays d'Auge (Basse-Normandie)*

Pavel HAVLICEK⁽¹⁾, Patrick LEBRET⁽¹⁾, Alain LECOINTE⁽²⁾,
François MÉNILLET⁽¹⁾, Michel RIOULT⁽³⁾, Martine CLET⁽⁴⁾

Mots-clés : Travertin, Holocène, Flore, Versant, Nappe perchée, Cénomaniens.
Orne.

Résumé

Plusieurs édifices travertineux en fond de vallée et quelques sources encroûtantes ont été reconnus lors du lever de la feuille n° 177, Vimoutiers (Orne) de la carte géologique de France à 1/50 000. L'existence de ces dépôts calcaires est liée aux eaux de l'aquifère perché du Cénomaniens qui alimentent de nombreuses sources dans les hautes vallées de la Vie et de la Touques, ainsi que sur la cuesta du Pays d'Auge.

Abstract

Several travertine structures inside alluvial sediments and calcareous deposits associated with springs were observed during the geological mapping of the sheet n° 177, Vimoutiers (Orne Department) of the 1:50,000 scale Geological map of France. The travertines are found close to springs fed by the perched Cenomanian chalk aquifer on the slopes of the Touques and Vie valleys and along the Pays d'Auge cuesta. Although still active, the major period of travertine deposition is considered to have been the Early Holocene, before anthropic erosion of the surrounding loams.

Introduction

Le lever géologique de la feuille Vimoutiers à 1/50 000 (fig. 1) par le Service géologique national (Ménillet, Rioult *et al.*, à paraître) a permis de découvrir de nombreux dépôts travertineux, à proximité de la discordance Crétacé-Jurassique. La cuesta du Pays d'Auge et les versants des principales vallées sont formés par les marnes callovo-oxfordiennes imperméables, surmontées par les assises crayeuses perméables du Crétacé, en limite méridionale et occidentale du Pays d'Auge. De ce fait, une ligne de source y souligne la discordance. La région cartographiée se situe principalement dans l'Orne, grossièrement délimitée par les quatre localités suivantes : l'Oudon, Canapville, Gacé et Argentan.

Les principaux cours d'eau qui drainent la région (Dives, Vie et Touques) ont entaillé le plateau depuis la craie cénomaniens jusque dans les marnes jurassiques sous-jacentes : ils coulent sur les niveaux argileux du Callovien à l'ouest et de l'Oxfordien à l'est. Dans la cuesta du Pays d'Auge et sur les versants des vallées de la Vie et de la Touques, l'aquifère perché du Cénomaniens alimente de nombreuses sources jalonnant la base du Crétacé, constituée soit par la « Glauconie de base »,

sable glauconieux et quartzeux, à graviers, galets ou passées argileuses, soit par les « Sables quartzeux du Mont-Ormel ». Tous les travertins observés sur le territoire de cette carte sont situés en contrebas de la discordance Crétacé/Jurassique.

A la suite des récents travaux effectués par le « Groupe Seine » sur les tufs et travertins du Bassin parisien (Lecolle, 1989, 1990), cette note vient compléter pour la Basse-Normandie l'inventaire de ces concrétionnements de surface déjà signalés dans le Pays d'Auge et le Bessin notamment, par A. Bigot (1939, 1942), mais sans descriptions, ni localisations précises. Dans sa note de 1939, il précise qu'en Pays d'Auge, dans les sites où ils étaient épais, les travertins furent autrefois exploités pour la construction de la partie haute des édifices religieux (il cite l'église des Moutiers-Hubert, du XIII^e siècle). En outre, il souligne que les gisements n'ont pas été retrouvés ; ils ont donc été exploités jusqu'à leur épuisement.

Dans le présent travail, P. Havlicek et P. Lebreton ont découvert les travertins de la Touques, de Neauphe-sur-Dives et de Coudehard ; F. Ménillet, les autres, celui de Saint-Évroult-de-Montfort en compagnie de P. Havlicek qui a assuré la cartographie des travertins de la Vie et de la Touques. P. Lebreton a effectué la première rédaction, revue et complétée par M. Rioult, A. Lecointe et F. Ménillet. A. Lecointe, spécialiste de la

* Manuscrit reçu le 20 mars 1991, accepté le 7 juin 1991.

(1) BRGM, Département Cartes et Synthèses Géologiques, BP 6009, 45060 Orléans Cedex.

(2) Laboratoire de Phytogéographie, Université de Caen, Esplanade de la Paix, 14032 Caen.

(3) Laboratoire de Géologie, Université de Caen, Esplanade de la Paix, 14032 Caen Cedex.

(4) Centre de géomorphologie du CNRS, rue des Tilleuls, 14000 Caen.

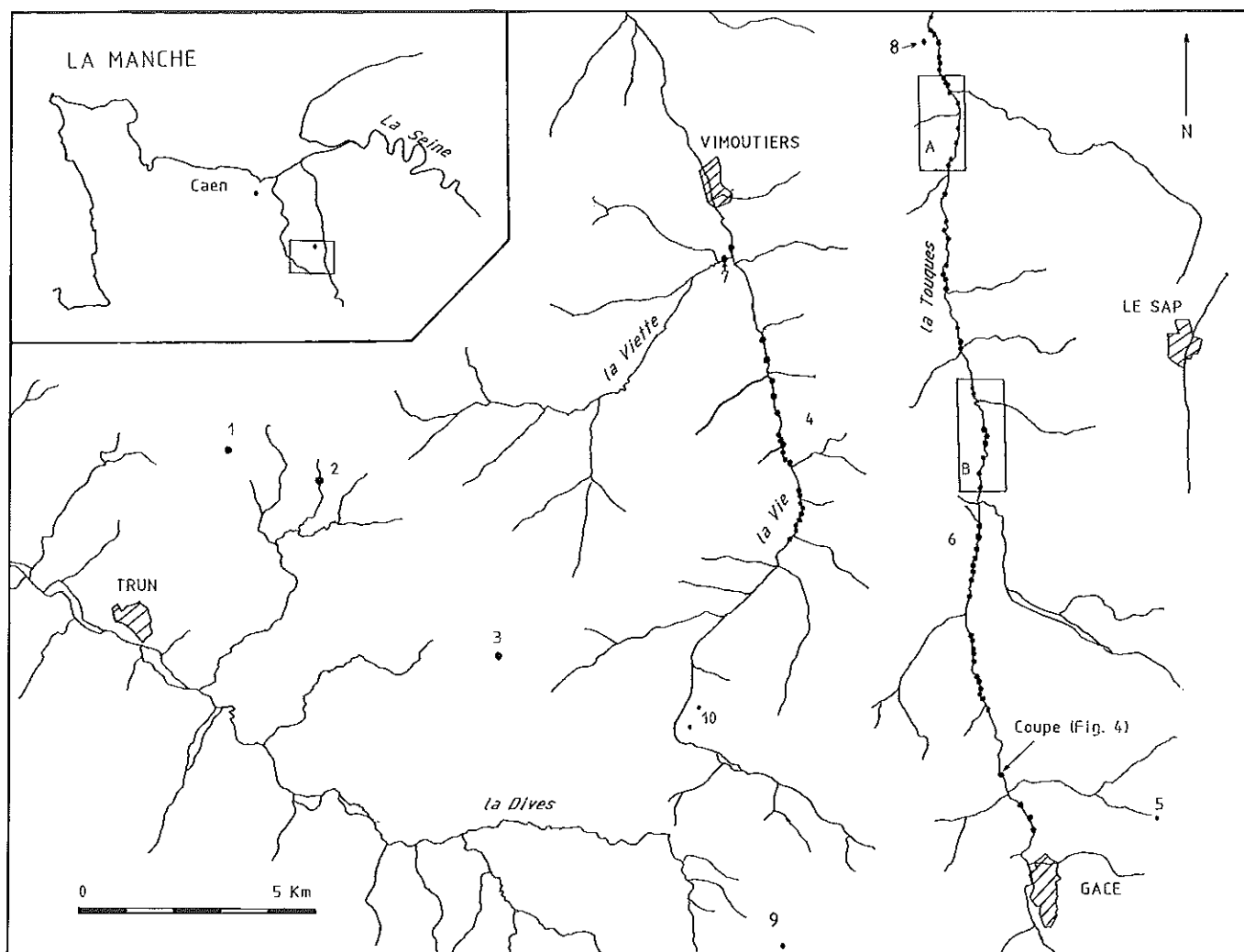


Fig. 1. - Répartition des gisements de travertins reconnus sur la feuille de Vimoutiers.
 1 à 9 : zones ou points d'observations ; A et B : voir agrandissement fig. 3.
 Fig. 1. - Distribution of studied travertine deposits in the Vimoutiers area.
 1 to 9 : observed points or zones ; A and B : see enlargement on Fig. 3.

bryoflore normande (Lecoïnte, 1979 à 1988) a assuré l'étude botanique, avec la collaboration de C. Billard. M. Rioult a étudié au microscope plusieurs échantillons de travertins de la Vie et celui du Petit-Mesnil ; de même F. Ménillet a examiné des échantillons de travertin de la Touques. La vue d'ensemble sur les organismes constructeurs est de M. Rioult.

Cet inventaire des travertins de la région ne peut être exhaustif, compte tenu du couvert végétal, mais l'absence de données bibliographiques régionales détaillées souligne l'intérêt de publier ces informations. A ce jour, nous avons déjà reconnu dix sites (fig. 1) de nature variée.

Travertins ponctuels de sources ou de versants : localisation et description

Tous les travertins de sources et de versants observés sont localisés. Les plus importants ont fait l'objet d'études qui montrent que plusieurs types de végétaux interviennent dans leur construction.

Encroûtement du Petit-Mesnil (fig. 1, n° 1)

Sur la commune de Montreuil-la-Cambe (61), au lieu-dit « Le Petit-Mesnil » ($x = 433,025$; $y = 1\,133,1375$; $z = + 153$ m NGF, Lambert Zone 1), l'angle NE, vertical, d'une mare artificielle récente (quelques décennies maximum) est tapissé par un encroûtement actif de quelques centimètres d'épaisseur, sur une hauteur de 2 mètres. Les eaux de sub-surface qui provoquent l'encroûtement sortent d'un banc calcaire intercalé dans les marnes du Callovien. Mais au-dessus, sur le versant, la proximité de sources drainant l'aquifère du Cénomaniens permet de vérifier que les eaux bicarbonatées dérivant de cet aquifère (comme celles qui sont à l'origine des autres travertins décrits ci-dessous) ne déposent leur calcaire qu'à une certaine distance de l'exsurgence et souvent, dans cette région, à la sortie des colluvions crétacées, voire des derniers bancs calcaires jurassiques.

Le travertin est roux, ferrugineux, à grandes cavités aplaties (photo 1). Il présente l'originalité d'être formé par une association de Bryophytes dominée par l'Hépatique *Pellia endiviifolia*, à thalle prostré lobé, accompagnant d'autres hépatiques du genre *Lophozia* (sous-

genre *Leiocola*), *L. turbinata*, ainsi que des mousses (*Gymnostonium calcareum*, *Eucladium verticillatum*, *Gyroweisa tenuis*). Un examen détaillé montre que les végétaux chlorophylliens sont enduits de leur vivant d'une boue calcaire grumeleuse à fragments de coquilles de Brachiopodes fossiles (Zeilléridés du Callovien sus-jacent). Les tissus végétaux, souvent envahis par un feutrage d'hyphes mycéliens, pourrissent dans la partie la plus profonde en se chargeant d'hydroxydes de fer ou se décomposent en fragments humiques, laissant un réseau de cavités anastomosées qui se vide de sa matière organique altérée.

La circulation de l'eau se fait à travers ces cavités en continuité, où se développent dans les anfractuosités et sur les parois, des cristaux prismatiques de calcite claire ou sale, perpendiculairement au moule micritique. Ces revêtements cristallisés peuvent donner des petites cavités drusiques dans les anfractuosités, avec terminaisons cristallines en pointe dans la lumière centrale. Les enduits boueux millimétriques acquièrent une cohésion, en s'enrichissant de mucilages végétaux, et une résistance en s'armant de débris végétaux allongés par le courant d'eau.

Barrage travertineux de Neauphe-sur-Dives (Orne, fig. 1, n° 2)

Le long du ruisseau drainant la « Cuvée-d'Auge », commune de Neauphe-sur-Dives, à proximité de la départementale 916 ($x = 435,025$; $y = 1\ 133,1375$; $z = + 157$ m NGF), un petit barrage de travertin détermine une chute d'eau, haute de 50 cm environ sur 1 m de largeur. Encore actif, ce travertin présente un aspect extérieur lisse et homogène, mais il est en fait très poreux et spongieux. A cet endroit, l'eau du ruisseau coule sur les marnes du Callovien et provient des sources issues de la Glauconie de base affleurant à 200 m environ, en amont du point observé.

Travertin de « Coudehard » (Orne, fig. 1, n° 3)

Sur la commune de Coudehard, au nord de la Croix-Visset ($x = 438,650$; $y = 1\ 128,700$; $z = + 175$ m NGF), un travertin a été reconnu au pied d'une haie de clôture du bocage. L'affleurement est situé au sommet du tiers inférieur d'un versant, sur les marnes du Callovien. Une vingtaine de mètres plus haut le plancher de la glauconie de l'Albien supérieur est visible. Un ruisseau est traversé par le travertin qui ne montre aucune trace de concrétionnement actuel. Très limité en surface, l'affleurement présente quelques blocs durs de travertin sec et fossile. La morphologie du site laisse à penser que ce dépôt, édifié à même le versant, n'occupe que quelques dizaines de mètres carrés au maximum et forme un plancher sub-horizontale sur un replat d'érosion.

Édifice travertineux près de la Chapelle de Saint-Évroult-de-Montfort (Orne, fig. 1, n° 5)

A l'est de Saint-Évroult-de-Montfort, au pied d'une petite chapelle ($x = 451,500$; $y = 1\ 125,075$; $z = + 230$ m NGF), des édifices travertineux sont localisés aux griffons les plus importants d'une zone de sources bien

alimentées même en période de sécheresse. Au nord du chemin, les constructions forment des bourrelets drapés subverticaux sur les talus (fig. 2), certains lobés et vaguement mamelonnés ; quelques parties dénudées montrent une croûte continue, mais leur surface souvent recouverte par la partie vivante des mousses, est généralement spongieuse et friable. En profondeur, le travertin apparaît plus dur et plus compact. Le tuyau d'un sourcin canalisé est complètement enrobé par la construction (fig. 2) ; cette observation prouve que l'encroûtement est très actif. Au sud du chemin, on n'observe qu'une seule construction importante, étalée sur un large talus en faible pente. Depuis la source, en haut du talus, le travertin s'étend jusqu'au chemin en forme de tronçon de cône très obtus et asymétrique. Au niveau du chemin, qu'il domine d'une hauteur de 40 cm au maximum, sa circonférence atteint 3 mètres. En surface, il est plus ou moins meuble et consiste en mousses, brindilles ou noisettes encroûtées, sauf dans l'axe de circulation principale de l'eau où il est lisse et compact.

Ici, les éléments constructeurs sont les plus connus et les plus classiquement observés : les mousses du genre *Cratoneuron* (Weijermars *et al.*, 1986). Dans ce site, c'est *Cratoneuron filicinum* qui forme l'essentiel de la

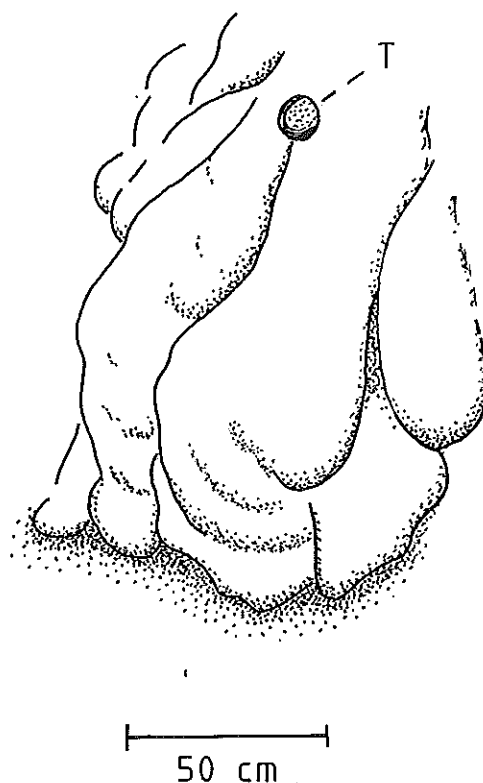


Fig. 2. - Travertin de source, Saint-Evroult-de-Montfort (Orne).

Gros lobes subverticaux de travertin drapés, liés à la division des filets d'eau du sourcin. La principale venue d'eau est canalisée, mais le tuyau (T) est pris dans le travertin, ce qui prouve que l'encroûtement est très actif. La partie vivante des mousses encroûtées forme une couverture végétale verte à la surface du travertin.

Fig. 2. - Spring travertine, Saint-Evroult-de-Montfort (Orne Dept.).

Large subvertical lobes of draped travertine associated with the divided stream flows of the springlet. The main flow is channelled, but the pipe (T) is encrusted in travertine which shows that the deposition is still very active. The living part of the encrusted mosses forms a green vegetal growing up from the travertine surface.

construction, la plante mourant par sa base sous son enrobage calcaire, tout en continuant sa croissance par des apex bien vivants et photosynthétiquement actifs. Cette espèce est accompagnée par d'autres mousses, plus ou moins efficaces dans l'édification, telles que *Brachythecium rivulare*, *Eurhynchium striatum*,... et des hépatiques à thalle comme *Pellia endiviifolia*, *Conocephalum conicum*, *Lunularia cruciata*,...

Travertin du Glatinet à Canapville

(Orne, fig. 1, n° 8)

En rive gauche de la Touques, au hameau du Glatinet, une mince couche de travertin forme un plancher calcaire au débouché d'un minuscule thalweg dans un chemin creux ($x = 448,090$; $y = 1\ 141,685$; $z = + 125$ m NGF). Ce travertin repose sur des formations de versant qui masquent la base du Cénomaniens, vraisemblablement proche. L'élargissement du thalweg à proximité du chemin pourrait être d'origine anthropique, ce qui impliquerait un âge historique pour ce travertin. En plus des espèces déjà citées, on y rencontre *Rhynchostegium riparioides* dans les portions du travertin sous ruissellement rapide et probablement quasi permanent.

Travertin du Hamel à Aavernes-sous-Exmes

(Orne, fig. 1, n° 9)

A 1,5 km au sud-ouest de l'église d'Aavernes-sous-Exmes, au sud-est du lieu-dit le Hamel, un chemin en remblai barre un ruisseau. Sur le talus formé par ce remblai, à l'aval, une mince pellicule de travertin s'est constituée à la faveur d'une cascade. Construit sur une formation anthropique, ce travertin est donc aussi d'âge historique.

Travertins de Saint-Pierre-la-Rivière

(Orne, fig. 1, n° 10)

A l'est de Saint-Pierre-la-Rivière, à mi-distance entre la mairie et la ferme de la Ferrière, une source coule du haut du talus bordant au sud le chemin. L'eau a creusé le talus, s'écoule en cascade et inonde des racines mises à nu et encroûtées. En dessous, elle ruisselle sur un travertin, épais de 10 à 20 cm, large de 50 cm, nappant la base du talus sur un mètre de hauteur. La construction est formée par l'encroûtement de nombreuses brindilles et petites racines. 500 m plus au sud, sur le talus qui borde au nord la route de l'église, face à la première ferme, deux venues d'eau provoquent l'encroûtement de la végétation du talus. L'une des constructions forme un bourrelet très net en saillie sur le talus, drapé de mousses vivantes comme les travertins de Saint-Évroult-de-Montfort. Ces encroûtements sont très actifs, un tuyau en PVC étant pris dans la construction.

de lit de rivière : la Vie (fig. 1, n° 3 ; $x = 443$ à 445 ; $y = 1\ 130$ à $1\ 138$; $z = + 137$ à $+ 100$ m NGF), et la Touques (fig. 1, n° 6 ; $x = 448$ à 450 ; $y = 1\ 122$ à $1\ 140$; $z = + 130$ à $+ 118$ m NGF).

Description (fig. 1, photo 2)

Ces types de travertin paraissent identiques sur toute la région cartographiée. Ce sont des bancs formant plancher ou barrage dans le cours d'eau, de quelques décimètres à parfois plus de 2 m de large, de 20 à 30 cm d'épaisseur apparente. Dominant de 30 cm environ le fond des rivières, ces travertins furent observés à la faveur des basses-eaux de l'automne 1990. Ils n'ont été reconnus que sur les tronçons méandriques des deux rivières et l'obliquité des barres de travertin par rapport au courant actuel peut s'expliquer par une simple migration de méandre ; leur absence sur les tronçons rectilignes pourrait être naturelle ou liée à d'éventuelles modifications anthropiques du lit du cours d'eau (fig. 3).

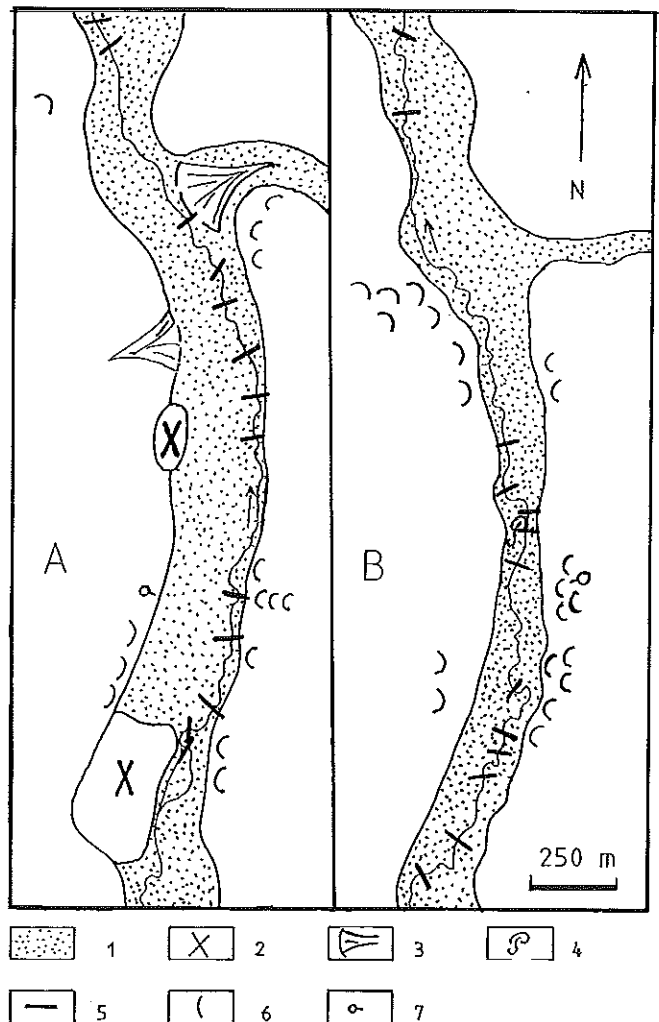


Fig. 3. - Détails de répartition des micro-barrages de travertins dans la vallée de la Touques et leur contexte morphologique.

1 : Alluvions holocènes, 2 : Dépôts anthropiques, 3 : Cônes alluviaux limoneux, 4 : Paléosol interstratifié reconnu, 5 : Orientation de la barre de travertin, 6 : Loupe de glissement, 7 : Source.

Fig. 3. - Details of the spread of travertine micro dams in the Touques valley and their morphological environment.

1 : Holocene alluvium, 2 : Anthropogenic deposits, 3 : Loamy alluvial cones, 4 : Observed interstratified paleosol, 5 : Orientation of the travertine bar, 6 : Bulge, 7 : Spring.

Travertins de lit de rivière

Deux des principaux cours d'eau nous ont permis de repérer et d'étudier en de nombreux points des travertins

La plupart de ces bancs reposent sur les graviers de fond, sans relation définie avec les sédiments fins des berges. Toutefois, en quelques points, l'édifice travertineux débute à sa base par des encroûtements de galets de silex et passe sous les sédiments fins du remplissage alluvial. En un seul point, situé au confluent de la Viette avec la Vie (fig. 1, n° 7), on constate, dans le lit de la Viette, l'absence de bancs de travertin et simplement la présence de nombreux galets encroûtés.

Microfaciès d'un travertin du lit de la Touques

La nature de l'encroûtement des galets est de même type que la masse principale du travertin sus-jacent. Sa structure est concentrique à la périphérie du galet, souvent avec une subdivision de certaines lamines en coussinets, réduits parfois à des colonnettes. En lame mince (photos 3 et 4), la structure concentrique est marquée par une alternance de lamines claires et foncées. Les premières sont généralement plus épaisses (jusqu'à 1 mm et plus) et plus poreuses avec des vides à section circulaire ou oblongue laissés par la nécrose de brindilles encroûtées. Des cavités de forme irrégulière, apparemment liées à des phénomènes de dissolution, sont partiellement remplies de quartz détritiques et de grains de glauconie, remaniés des formations basales crétaées. Les lamines sombres sont généralement compactes et constituées de granules de 10 µm de diamètre plus ou moins coalescents colorés par un pigment brun. Certaines sont réduites à un alignement de granules pigmentés. La trame de l'encroûtement est construite par un feutrage de filaments algaires dressés, perpendiculairement à la base de la lamine, subparallèles ou divergeant légèrement en éventail dans les lamines les plus épaisses. D'un diamètre de 2 µm environ, ces filaments peuvent avoir plus d'un millimètre de long et se suivre à travers plusieurs lamines. Ils sont encroûtés de petits (5 à 10 µm de largeur) cristaux équants de calcite, jointifs, sauf dans les lamines claires les plus poreuses. L'épaisseur des lamines varie beaucoup latéralement, surtout pour les couches claires souvent discontinues. Certaines couches sont uniquement constituées d'un feutrage dense de filaments calcifiés et contigus.

Édifice travertineux stromatolithique du cours de la Vie

Cet encroûtement, épais de 1 à 2 cm en moyenne, présente une surface supérieure caractéristique en chou-fleur et une section zonée constituée de lamines, plus ou moins parallèles à la surface du substrat, blanchâtres ou grisâtres, poreuses et friables, à noyaux indurés. Au microscope, ces lamines sont composées de colonies algaires, claires ou sombres, retenant dans leurs interstices des sables composites, grossiers à fins, ou une boue micritique de décantation.

Les colonies claires sont hémisphériques et, en coupe, apparaissent comme des éventails de filaments cyanophycéens (photos 5 et 6), divergeant à partir d'un centre de fixation sur le substrat et montrant des

encroûtements zonés concentriquement. Les faisceaux de trichomes parallèles, tordus ou tressés, sont incrustés dans des cristaux de calcite translucide, striés longitudinalement et zonés transversalement de bandes sombres deux à trois fois plus larges que les étroits liserés clairs qui séparent ces dernières. Cette alternance relativement régulière de liserés et de bandes est en continuité latérale, concentrique à l'échelle de chaque colonie, et par conséquent liée à la croissance des algues. Ces filaments rigidifiés par le carbonate de calcium donnent l'illusion de dichotomies, mais cette impression résulte de la section dans un enchevêtrement de filaments simples, passant d'un plan dans un autre. Ces colonies denses n'ont piégé que de la boue et les grains détritiques les plus fins (photo 6).

Tout aussi fréquentes sont les colonies sombres, également en dômes hémisphériques, mais dont les éventails vus en section sont généralement plus lâches, toujours issus d'un centre de fixation basal. Le trichome de ces Cyanophycées est unique, de faible diamètre et se détache en clair dans l'axe d'une gaine micritique sombre deux à trois fois plus épaisse. Les mucilages de ces graines ont piégé la boue de micrite et encollé divers grains détritiques minéraux (glauconie, quartz, craie) ou débris végétaux, enlacés dans leur maille. Ces gaines sont plus ou moins érodées sur leur longueur et tendent à s'effiler à leur extrémité distale (photo 4).

Certaines lamines montrent des lits détritiques contenant des fragments remaniés de lamines sous-jacentes ou des secteurs arrachés à des colonies algaires au cours d'épisodes d'érosion de l'édifice travertineux en construction. À côté de ces intercalations de produits d'érosion intraformationnelle, se trouvent aussi des grains encroûtés, à nucléus minéral (glauconie, quartz, craie) ou organique (débris ligneux). L'encroûtement peut être partiel, hémisphérique, ou total, subsphérique ou ovoïde, composé dans les deux cas par un petit nombre de lamines (4-5) sombres très minces séparant des lamines de calcite sale, formées de cristaux aciculaires, perpendiculaires à la surface des noyaux et des lamines sombres. Dans ces grains encroûtés, les traces de filaments d'algues sont rares et cantonnés à la périphérie du nucléus. La faible épaisseur des lamines et des encroûtements eux-mêmes (souvent partiels) impliquerait plutôt l'intervention de colonies bactériennes à cette échelle que celle de Cyanophycées, d'autant plus que ces bactéries ont été décelées dans ces milieux (Chafetz *et al.*, 1983 et 1984).

La porosité est importante. Elle résulte en grande partie de la fossilisation de restes végétaux millimétriques à centimétriques, qui ont été lentement décomposés et lessivés in situ. En coupe, plusieurs sections de feuilles et de tiges de végétaux herbacés sont observées à divers stades de leur destruction. Le moulage fidèle du contour de ces restes végétaux est assuré par cette boue micritique enrichie de mucilages algaires, contenant des trichomes cyanophycéens et des cristaux de calcite perpendiculaires à la surface de contact. Ces encroûtements de feuilles, à parois rapprochées, bien qu'armés par des filaments d'algues et de cristaux de carbonate de calcium, restent fragiles, comme l'indiquent des effondrements de la paroi supérieure accompagnés d'une sédimentation interne dans les cavités laissées par le lessivage de la matière organique.

Flore actuelle associée aux édifices *

De même qu'il existe une grande diversité d'espèces végétales et de modes de construction dans les affleurements ponctuels sur versants, de même les travertins de fond de vallée ne peuvent être limités à un type unique de constructeurs. Les phytocénoses responsables varient d'ailleurs suivant les sites et construisent des travertins à textures différentes, même si les barres paraissent extérieurement semblables dans des rivières.

Dans la Vie (fig. 1, n° 4), les encroûtements anciens sont constitués par des genres connus pour leur capacité « tufigène », qu'ils soient isolés ou associés : *Cratoneuron*, *Pellia*, *Rhynchostegium*. Ils sont actuellement surmontés par des encroûtements récents mamelonnés, gris bleuté, formés essentiellement par des Cyanophycées des genres *Rivularia* et *Oscillatoria*, ce dernier se présentant sous forme de filaments hormogoniaux courts, serrés les uns contre les autres. Les parties âgées, calcifiées, servent de support à de nombreux autres végétaux, vivant soit en mélange, soit tour à tour dominants en fonction des points de prélèvement (commune de Fresnay-le-Samson) : Xanthophycées (*Vaucheria*) et Diatomées (surtout des pennales benthiques non coloniales comme *Navicula*, *Eunotia*,...) pour les Algues, Hépatiques (*Pellia endiviifolia*, *Marchantia polymorpha*), Mousses (*Rhynchostegium riparioides*, *Fontinalis antipyretica*, *Amblystegium riparium*,...). Les Bryophytes sont effectivement plus ou moins encroûtées de calcaire, mais ici, elles ne semblent pas jouer un rôle très actif dans l'édification des travertins.

A noter, dans ce secteur de vallée, de nombreux chablis couchés d'Aulne (*Alnus glutinosa*) parmi les arbres installés dans le lit de la rivière. Ils avaient pu s'y développer en s'ancrant sur les édifices construits antérieurement, comme en témoignent les travertins arrachés lors de la chute des arbres et mis à jour maintenant entre leurs racines.

Dans le lit de la Touques, observations et conclusions semblent différentes, au moins au niveau du « Grand-Village » (commune de Ticheville, fig. 1, entre les secteurs A et B).

Les concrétions, mamelonnées ou formant des plateaux étagés (tout juste revenus sous le niveau des eaux en novembre 1990), portent des végétaux différents qui se fixent sur des niveaux concrétionnés. Les mousses, en populations denses (*Fissidens mildeanus*, *Pohlia campotrachela*, *Physcomitrium pyriforme*,...) piègent les sédiments qui s'accumulent entre leurs brins serrés et les recouvrent progressivement. Des algues vertes participent au phénomène, en particulier des *Cladophora* qui sont recouvertes de bactéries filamenteuses incolores et gluantes, qui « collent » les particules minérales.

Quelques Cyanophycées (dont certaines palmelloïdes), des Diatomées, les classiques Hépatiques *Pellia endiviifolia*,... et Mousses (*Fontinalis antipyretica*, *Rhynchostegium riparioides*,...) complètent cette flore, dans des sites où l'édification actuelle semble assez différente de celle des travertins holocènes et nécessitera des recherches complémentaires et un suivi saisonnier.

* Avec, pour la détermination des algues, la collaboration de Chantal Billard, Docteur ès Sciences, Laboratoire d'Algologie fondamentale et appliquée de l'Université de Caen.

Diversité des organismes constructeurs ; leur double rôle (précipitation du calcaire et piégeage) dans l'édification des travertins

Dans ce premier bilan de l'étude des travertins rencontrés sur le territoire de la feuille Vimoutiers, plusieurs faits importants mis en évidence méritent d'être soulignés quant à la diversité des constructeurs et des constructions.

Plusieurs catégories de végétaux inférieurs interviennent dans les édifices travertineux examinés, principalement des Bryophytes (Mousses, Hépatiques) et des algues (Chlorophycées, Cyanophycées).

Ces associations végétales sont liées à différentes modalités de constructions des travertins allant de l'intervention active « individuelle » à l'édification « collective » des colonies.

Encroûtement classique des mousses

Chaque tige feuillée de *Cratoneuron* (Mousse) se trouve peu à peu entourée dans sa partie basale par un encroûtement calcaire, précipité au contact de ses tissus chorophylliens, à la faveur de la photosynthèse. Cette croissance de cristaux de calcite à la périphérie des tiges et feuilles vertes, raidit d'abord chaque portion vivante de la mousse, consolidée par son étui minéral. A l'intérieur du manchon calcaire, la mousse finit par mourir, alors que sa croissance se poursuit dans sa partie apicale, hors du manchon, et qu'elle vit encore dans la partie amincie, transparente, terminant ce dernier. Chaque peuplement de *Cratoneuron*, fixé au fond par calcification progressive des tiges feuillées, ne tarde pas à se comporter comme un piège sédimentaire, immobilisant dans sa trame les débris organiques et minéraux transportés par les eaux qui le baignent, autant que ceux qui sont apportés par voie aérienne.

Dualité d'intervention des Bryophytes

Il est intéressant de noter le double comportement des Bryophytes (Mousses, Hépatiques) formant les gazons denses au niveau des édifices travertineux. Dans les périodes de crues et d'écoulement rapide des eaux, les parties distales des tiges feuillées, vivantes et souples, se couchent vers l'aval du courant, protègent l'édifice qu'elles recouvrent et facilitent l'écoulement en lissant le fond à la partie supérieure de l'obstacle constitué par la construction. Au contraire, quand les eaux baissent et que certaines portions de peuplement et de travertins émergent, les eaux viennent à stagner ou à s'écouler très lentement, les tiges feuillées vivantes s'épanouissent alors, en se redressant dans l'eau calme ou à l'air libre, offrant une surface maximale aux rayons solaires et à la photosynthèse. Dans le même temps, les tiges dressées constituent un piège vertical, bloquant les débris sédimentaires tractés sur les fonds ou flottés au-dessus. Ainsi l'alternance des deux attitudes du gazon végétal rythment (surtout saisonnièrement) le développement des travertins. Ce double phénomène, de piégeage sédimentaire et de protection des matériaux piégés n'est pas sans rappeler ce qui a été décrit sur les côtes de Normandie à propos de l'Algue rouge marine *Rhodothamniella floridula* (Dillwyn) Feldm qui édifie

des coussinets de sablons fins calcaires en les piégeant entre ses filaments dressés au flot et à l'étale de haute-mer, avant de les bloquer sous ses filaments prostrés au reflux et à l'émersion à basse-mer (Hommeril et Rioult, 1965).

Un travertin à hépatiques

Dans le cas de l'encroûtement du Petit-Mesnil, à *Pellia endiviifolia* (Hépatique), le processus est plus complexe. Les eaux qui s'écoulent sur et à travers le peuplement de Bryophytes et son travertin sont des eaux turbides, enrichies en argiles, carbonates de calcium et hydroxydes de fer remaniés en partie des marnes et calcaires pyriteux calloviens environnants. Dans leur ensemble, les tiges feuillées sont alignées, grossièrement accolées les unes contre les autres, entrelacées par le courant. Elles sont individuellement enrobées dans un enduit boueux (micritique) ou grumeleux (pelmicritique), polarisé, remplissant les interstices. La polarité s'exprime doublement. D'une part, vers le bas (ou plus exactement vers la paroi), par le développement de nombreux rhizoïdes issus de la face inférieure des tiges feuillées au contact avec le substrat boueux. D'autre part, vers le haut, à l'interface gazon bryophytique-eau ruisselante où la partie supérieure des végétaux encollés de boue visqueuse bloque les plus gros grains minéraux et organiques tractés sur la paroi. La matière organique des Bryophytes se décompose très lentement (parois cellulaires en particulier), en formant une matière humique brunâtre, parfois amorphe. Le plus souvent elle est apparemment envahie par un feutrage dense de filaments mycéliens, qui piège les hydroxydes de fer en complexes organo-minéraux. De grands cristaux de calcite se forment tardivement à partir des eaux sursaturées en carbonate de calcium. Ces eaux circulent au ralenti au sein de l'édifice travertineux, formé de boue cohérente, armée de restes végétaux tressés, à travers un réseau de cavités tubulaires, anastomosées, laissées par le lessivage de la matière organique décomposée. Des cristaux de calcite, claire ou sale, se développent surtout dans les micromilieus retenant l'eau par tension superficielle, soit entre les parois rapprochées des cavités (moulage des feuilles), soit dans les tubulures à faible section (moulage de tiges fines, axes feuillés). La croissance centripète des cristaux disposés perpendiculairement aux parois des cavités, tend à donner naissance localement à des cavités drusiques, dont la lumière est bordée par l'extrémité prismatique des cristaux.

Conclusion sur l'intervention des Bryophytes

Dans le cas des Bryophytes, il existe donc deux principales modalités dans la construction des travertins. Dans la première, il y a formation précoce d'un encroûtement calcitique périphérique autour du végétal encore vivant, suivi d'un piégeage sédimentaire intersticiel. Dans la seconde, le piégeage collectif d'une boue par le gazon bryophytique s'effectue à partir d'eaux turbides et moule les végétaux vivants en un travertin boueux, cohérent, armé de tiges végétales alignées. Après décomposition de la matière organique des constructeurs, ce piégeage est suivi par la précipitation tardive de cristaux de calcite dans les micromilieus les plus favorables, donc de façon discontinue.

Les travertins à algues (stromatolithes d'eaux douces)

Leur rôle dans l'élaboration des constructions calcaires actuelles étant connu depuis longtemps dans la région (Fremy, 1942), les algues incrustantes présentent, de la même manière, deux modes d'intervention dans l'édification des travertins. Chlorophycées et Cyanophycées peuvent aussi précipiter le carbonate de calcium, directement autour de leur filaments (Chlorophycées) ou dans leur gaine mucilagineuse (Cyanophycées). Dans les colonies algaires denses, les filaments jouent aussi le double rôle de piégeage de grains détritiques et de protection des sédiments immobilisés, par alternance du port dressé en milieu calme et du port prostré en écoulement rapide, suivant les variations de l'énergie hydrodynamique du milieu. Le mucilage de la gaine des Cyanophycées ou les colonies bactériennes qui revêtent les filaments de Chlorophycées, facilitent par leur présence l'encollement sur ces derniers des débris charriés par les eaux ambiantes (ou par le vent à l'émersion). Les peuplements denses de filaments sont très actifs. Ils forment des touffes dressées en travers des courants, éventails filtrants très efficaces et ce piégeage passif accélère la construction des travertins. Comme dans les autres stromatolithes, la texture, tantôt laminaire (écoulement lent, laminaire, eaux calmes), tantôt colonnaire (écoulement linéaire plus rapide d'eaux divisées) exprime dans les constructions les variations saisonnières du ruissellement et de ses apports sédimentaires. De même les fluctuations verticales de porosité, sont rythmées par la succession d'apports vannés et d'épisodes de décantation des eaux turbides précédant la calcification photosynthétique en eaux claires.

Hypothèses chronostratigraphiques

Une coupe relevée à l'ouest de Saint-Évroult-de-Montfort (fig. 4 — $x = 449,325$; $y = 1\,125,650$; $z = +174$ m NGF) dans la vallée de la Touques précise le contexte stratigraphique de ces édifices.

De bas en haut, dans la figure 4, on distingue la nappe grossière des galets de fond (quartz, silex crétacés, calcaires jurassiques ; n° 1) surmontée d'une dalle de travertin de 20 cm d'épaisseur, homogène et résistante (n° 2). Son sommet horizontal est recouvert d'un limon tourbeux noirâtre (n° 3) qui passe rapidement à des limons argileux homogènes et massifs (n° 4). Cette séquence de remplissage d'un chenal se termine par un petit sol isohumique de plaine alluviale (n° 5). Une deuxième séquence limono-argileuse (n° 6) recouvre l'ensemble et supporte le pseudo-gley de la pédogenèse de surface, bien marquée par son horizon A_1 , très humifère (n° 7). Cette deuxième séquence renferme de nombreux mollusques dulçaquicoles disséminés dans sa masse.

Ici, le travertin apparaît donc postérieur aux graviers de fond de vallée, à faciès périglaciaire, dont la partie sommitale est attribuée dans la région à la fin du Weichsélien (Lautridou, 1985). D'autre part il est recouvert par le remplissage holocène qui débute ici par un niveau tourbeux. A quelques dizaines de mètres au sud de cette coupe, ce niveau tourbeux passe à un gyttja à *Tilia*, *Ulmus* et *Alnus* (détermination Geneviève Farjanel, BRGM) que l'on peut attribuer à la période

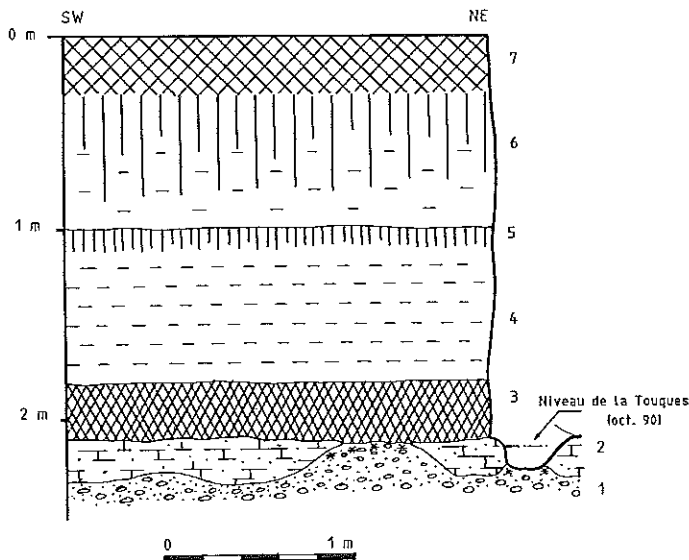


Fig. 4. - Coupe d'une berge de la Vallée de la Touques.
1 : Gravier de fond, * : galets encroûtés, 2 : Travertin, 3 : Limon tourbeux à débris végétaux, 4 : Limon argileux gleyifié, 5 : Petit paléosol alluvial isohumique, 6 : Limon argileux à mollusques terrestres, 7 : A₁ de la prairie de surface.

Fig. 4. - Section through a bank in the Touques valley.
1 : Bottom gravel, * : encrusted pebble, 2 : Travertine, 3 : Peat loam with vegetal debris, 4 : Gleyed clayey loam, 4 : Small isohumic alluvial paleosol, 6 : Clayey loam with continental mollusks, 7 : A₁ of the surface grassland.

Atlantique. Ce travertin s'est donc formé entre la fin du Weichsélien et l'Atlantique. L'âge des travertins connus les plus proches, « le tuf de Saint-Jean-d'Asnières » (Eure), se situe dans ce même intervalle de temps (Boréal).

Outre ces travertins anciens (holocènes) il existe en divers points du lit de la Touques, des barrages nettement plus récents, faits de troncs d'arbres et de branches, fortement cimentés par des concrétionnements travertineux rappelant ceux qui ont été décrits en Afghanistan (Lang et Lucas, 1970). En outre la plupart des travertins ponctuels de versant ici décrits sont actifs et certains sont même entièrement contemporains (Petit-Mesnil). Il est donc permis de supposer que si la phase majeure d'édification remonte au début de l'Holocène, les conditions de milieu favorables au dépôt de travertins sont restées actives jusqu'à nos jours ou tout au moins, redevenues actives périodiquement après la stabilisation du bocage consécutive aux intenses défrichements de la Proto-histoire et du Moyen âge.

IV. Conclusion

Le critère constant qui caractérise nettement les travertins fossiles et actuels de cet inventaire est la relation étroite avec les sources alimentées par l'aquifère du Cénomaniens. Le plus souvent, les travertins ne sont pas situés au point même d'affleurement du plancher de la nappe d'eau, mais en contrebas : soit quelques mètres au-dessous, dans des matériaux glissés, colluvionnés, soit beaucoup plus bas dans l'entaille d'un talus ou même différé à l'aplomb du lit mineur, du fond de la vallée. Dans ce dernier cas, les eaux ont circulé, de

façon hypodermique, dans les parties les plus perméables des formations de versant et les graviers de fond de vallée agissant comme des drains. La précipitation se produit aussi dans les portions du cours où les courants sont ralentis (méandres), entre les zones de turbulence de la rivière à proximité des cascades. Autrement dit, les zones les plus favorables à la formation des travertins sont celles où les eaux plus saturées en CO_3Ca subissent une perte brutale de la pression du CO_2 : soit en aval des sources et des exurgences différées, ou des cascades et chutes, soit encore au voisinage des peuplements denses d'Algues et de Bryophytes à photosynthèse active. La croissance des travertins est rythmée saisonnièrement par les variations de débit de l'aquifère. Il existe vraisemblablement d'autres formations travertineuses à l'aval de la région cartographiée, en particulier le long des vallées de la Touques et de la Vie.

Plusieurs types de végétaux interviennent dans la construction des travertins : Mousses, Hépatiques, Algues vertes et bleues, par deux principaux mécanismes : précipitation directe du carbonate de calcium et piégeage de boues et de sables quartzo-glaucconieux.

Une phase importante d'édification de ces travertins date du tout début de l'Holocène. Mais des encroûtements actuels, de taille plus modeste, et ponctuels, existent en de nombreux endroits dans les ruisseaux ou sur les versants entaillés dans les marnes du Jurassique moyen et supérieur. Ils y sont souvent recouverts d'épaisses formations périglaciaires, mais situés toujours en contrebas de la discordance Crétacé/Jurassique marquée par une ligne de sources issues des couches basales du Crétacé.

Les travertins découverts dans le lit de la Touques et celui de la Vie forment des planchers organisés en barres calcaires dont la position stratigraphique suggère différentes hypothèses de mise en place, discutées brièvement dans le présent article. Des études complémentaires (en cours) sur la dynamique de leur mise en place, au cours de l'évolution holocène et récente de la Basse-Normandie, viendront préciser les interprétations proposées.

Références bibliographiques

- BRIGOT A. (1939). - Géologie de la région de Vimoutiers (Orne). *Annuaire Assoc. Normande (Congrès de Vimoutiers, 1938)*, 106^e année, pp. 116-123.
- BRIGOT A. (1942). - La Basse-Normandie. Esquisse géologique et morphologique, Caen, Le Tendre imp., 123 p.
- CHAFETZ H.S., FOLK R.I. (1984). - Travertines depositional morphology and bacterially constructed constituents. *J. Sedim. Petrol.*, 54, (1), pp. 289-316.
- CHAFETZ H.S., MEREDITH J.C. (1983). - Recent travertine pisolites (pisoids) form southeastern Idaho, U.S.A. In : Peryt M. (Ed.) *Coated grains*. Springer Verlag (Berlin, New York), pp. 450-455.
- FRÉMY P. (1942). - Incrustations calcaires produites par les Algues. *Bull. Soc. Linnéenne Normandie*, (9), 2, (1941-1942), pp. 3-5.
- GUEURTS M.A. (1976). - Formation des travertins de fond de vallée sous climat tempéré océanique. *C.R. Acad. Sci. Fr.*, (D), 282, pp. 275-276.
- HOMMERIL P., RIOULT M. (1965). - Études de la fixation des sédiments meubles par deux algues marines : *Rhodothamniella floridula* (Dillwyn) Feldm. et *Microcoleus chthonoplastes* Thur. *Mar. geol.*, 3, pp. 131-155.
- LANG J., LUCAS G. (1970). - Contribution à l'étude de biohermes

continentaux : barrages des lacs de Band-e-Amir (Afghanistan central). *Bull. Soc. Géol. Fr.*, (7), 12, (5), pp. 834-842.

LAUTRIDOU J.P. (1985). - Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie. Thèse d'État, Univ. de Caen, géographie, CNRS, 980 p.

LECOINTE A. (1979). - Intérêts phytogéographiques de la bryoflore normande. 1 - Les cortèges cosmopolite et méditerranéen *s.l.* *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 107, pp. 61-70, 1 carte.

LECOINTE A. (1981 a). - Intérêts phytogéographiques de la bryoflore normande. 2 - Le cortège atlantique *s.l.* *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 108, pp. 51-60.

LECOINTE A. (1981 b). - Intérêts phytogéographiques de la bryoflore normande. 3 - Le cortège circumboréal *s.l.* *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 109, pp. 55-66.

LECOINTE A. (1988). - Intérêts phytogéographiques de la bryoflore normande. 4 - Additions, corrections, spectres biogéographiques et

écologiques. *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 110-11, pp. 23-40, 5 tabl. (importante bibliographie sur la bryoflore normande).

LECOLLE F. (éd.) (1989). - Les tufs et travertins quaternaires des bassins de la Seine et de la Somme, et du littoral cauchois : essais d'inventaire. *Bull. Centre Géomorph.*, CNRS, Caen, 37, non paginé.

LECOLLE F. (éd.) (1990). - Les tufs et travertins quaternaires des bassins de la Seine et de la Somme, et des régions limitrophes. Actes du colloque de Rouen. *Bull. Centre Géomorph.*, CNRS, Caen, 38, 213 p.

MÉNILLET F., RIOULT M., GONZALÈS G., HAVLICEK P., KUNTZ G., LEBRET P. (à paraître). - Vimoutiers, feuille n° 177 de la Carte géologique de la France à 1/50 000 et notice explicative. BRGM, Orléans.

WEIJERMARS R., MULDER-BLANKEN C.W., WIEGERS J. (1986). - Growth rate observation from the moss built Checa travertine terrace, Central Spain. *Geol. Mag.*, 123, (3), pp. 279-286.

Légende de la planche photographique page 32

Photo 1. - Montreuil-la-Cambe, encroûtement du Petit-Mesnil à hépatiques.

Microphoto montrant des cavités qui représentent le moulage des *Pellia endiviifolia* ; dans certaines, des cellules végétales sont conservées ; dans d'autres, la matière organique est entièrement lessivée et le vide peut être rempli par de la calcite drusique. La boue a piégé un fragment de test d'un zeilleriidé du Callovien, bloqué entre les hépatiques. La boue est fixée par les rhizoïdes des hépatiques (polarité géotrope) et localement par les filaments des Cyanophycées.

Plate 1. - *Montreuil-la-Cambe, liverwort encrustation at the Petit-Mesnil.*

Microphotograph showing cavities representing the moulds of Pellia endiviifolia ; vegetal cells are preserved in some of the cavities ; in others the organic matter has been completely leached and the void may be filled with drusy calcite. The mud has trapped a fragment of test from a Callovian zeilleriid trapped between the liverworts. The mud is fixed by the liverwort rhizoids (geotropic polarity) and locally by Cyanophyta filaments.

Photo 2. - Barre de travertin sur le fond du lit de la Touques.

Plate 2. - *Travertine bar on the bottom of the Touques river bed.*

Photo 3. - Travertin du lit de la Touques : microfaciès.

Alternance irrégulière de couches claires, certaines zonées, très poreuses et de couches sombres riches en filaments calcifiés (Cyanophycées probables) dressés ou enchevêtrés.

Plate 3. - *Travertine of the Touques river bed : microfacies.*

Irregular alternation of light coloured beds, very porous locally zoned, and dark coloured beds rich with calcified filaments (probable Cyanophyta), both vertical and tangled.

Photo 4. - Travertin du lit de la Touques : détail d'une couche sombre.

Plus ou moins enchevêtrés, les filaments algaires sont empâtés dans une boue micritique sombre. Noter la grande porosité de la couche claire sus-jacente (en haut, à droite).

Plate 4. - *Travertine of the Touques river bed : detail of a dark coloured bed.*

More or less entangled, the algal filaments are embedded in dark micritic mud. Note the porosity in the overlying light coloured bed (top right).

Photo 5. - Micro-barrage de travertin dans le lit de la Vie.

Microphoto montrant une colonie de Cyanophycées dont les filaments sont incrustés dans des cristaux de calcite. Noter la zonation de croissance visible dans les cristaux.

Plate 5. - *Travertine micro-dam on the Vie river bed.*

Microphotograph showing a colony of Cyanophyta whith filaments embedded in sparite crystals. Note the growth zones visible in the crystals.

Photo 6. - Barrage de travertin dans le lit de la Vie.

Microphoto montrant une colonie de Cyanophycées dont les gaines mucilagineuses ont encollé et piégé la boue carbonatée, avec des grains de glauconite et de quartz remaniés du Crétacé.

Plate 6. - *Travertine dam in the Vie river bed.*

Microphotograph showing a colony of Cyanophyta whose mucilaginous sheaths have collected and trapped carbonate mud with grains of glauconite and quartz reworked from the Cretaceous.

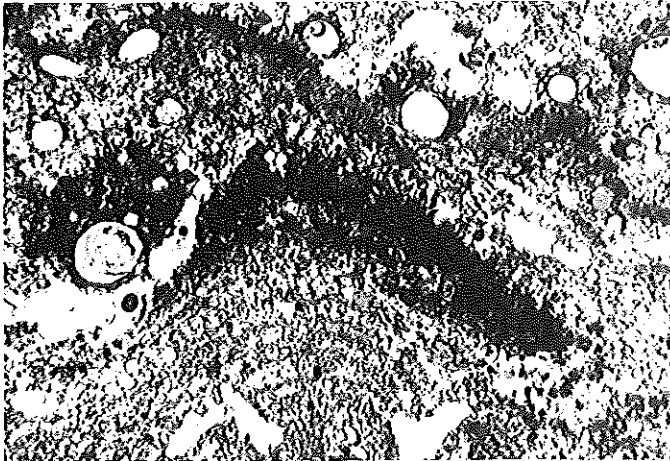


①

1 mm

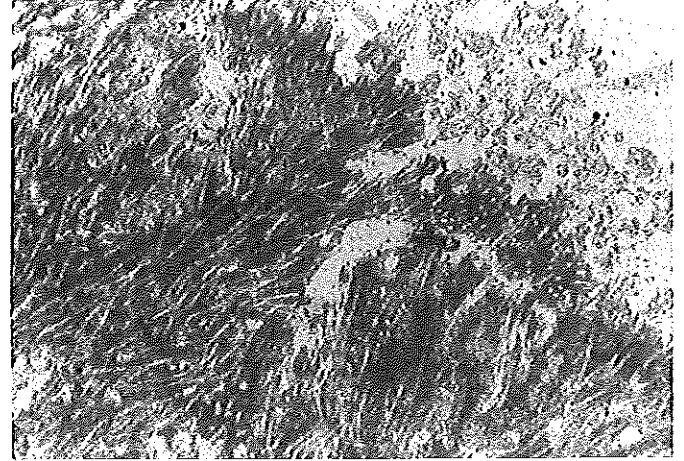


②



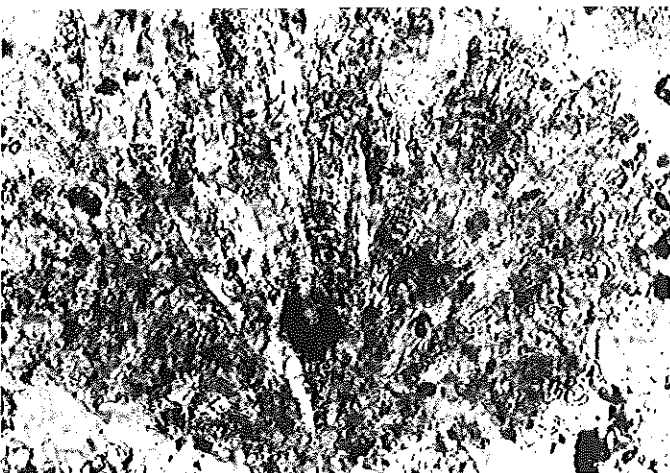
③

1 mm



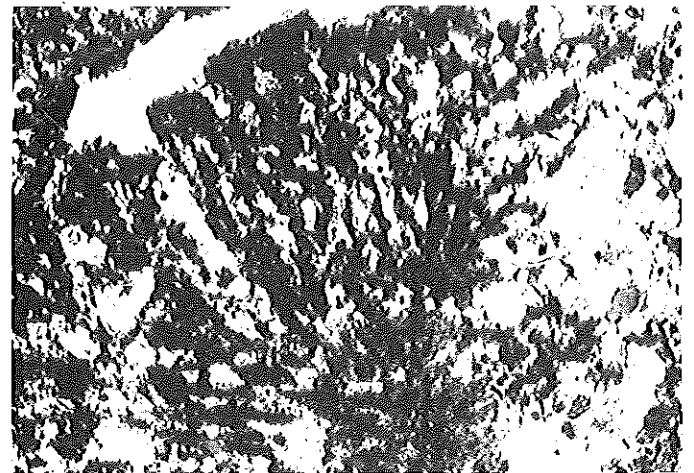
④

250 μm



⑤

100 μm



⑥

1 mm