

Article

« Palynologie et lithostratigraphie du Pléistocène du site de Donnacona, vallée du Saint-Laurent, Québec »

Martine Clet, Serge Occhietti et Pierre J. H. Richard

Géographie physique et Quaternaire, vol. 45, n° 2, 1991, p. 125-140.

Pour citer cet article, utiliser l'information suivante :

URI: <http://id.erudit.org/iderudit/032856ar>

DOI: 10.7202/032856ar

Note : les règles d'écriture des références bibliographiques peuvent varier selon les différents domaines du savoir.

Ce document est protégé par la loi sur le droit d'auteur. L'utilisation des services d'Érudit (y compris la reproduction) est assujettie à sa politique d'utilisation que vous pouvez consulter à l'URI <https://apropos.erudit.org/fr/usagers/politique-dutilisation/>

Érudit est un consortium interuniversitaire sans but lucratif composé de l'Université de Montréal, l'Université Laval et l'Université du Québec à Montréal. Il a pour mission la promotion et la valorisation de la recherche. Érudit offre des services d'édition numérique de documents scientifiques depuis 1998.

Pour communiquer avec les responsables d'Érudit : info@erudit.org

PALYNOLOGIE ET LITHOSTRATIGRAPHIE DU PLÉISTOCÈNE DU SITE DE DONNACONA, VALLÉE DU SAINT-LAURENT, QUÉBEC

Martine CLET, Serge OCCHIETTI et Pierre J. H. RICHARD; première auteure: Centre de géomorphologie du CNRS, rue des Tilleuls, 14000 Caen, France et Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie, Département de géographie, Université de Montréal, c.p. 6128, succursale A, Montréal, Québec H3C 3J7; deuxième auteur: Département de géographie et GÉOTOP, Université du Québec à Montréal, C.P. 8888, succursale A, Montréal, Québec H3C 3P8; troisième auteur: Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie, Département de géographie, Université de Montréal, c.p. 6128, succursale A, Montréal, Québec H3C 3J7.

RÉSUMÉ À Donnacona, une séquence de sédiments non glaciaires est intercalée entre un complexe glaciaire inférieur et le Till de Gentilly. Le complexe inférieur comprend un till basal, des dépôts de marge glaciaire, un diamicton, quelques varves, un till et une rudite sommitale. La séquence intermédiaire est composée de trois unités: des silts et sables riches en débris végétaux, datés à >35 000 BP (UQ-678), des sables stratifiés et des silts massifs. L'interprétation paléoenvironnementale de la séquence tient compte du spectre et de la concentration polliniques, de la diversité taxonomique et de la nature des sédiments. Un traitement statistique met en évidence quatre palynozones. La palynologie démontre que les dépôts stratifiés intermédiaires de Donnacona sont en fait postérieurs aux Sédiments de Saint-Pierre, à l'exception d'une mince zone inférieure (palynozone Donnacona 1 à *Picea* et *Abies* dominants) corrélée au sommet des Sédiments de Saint-Pierre. Le reste de l'unité à débris organiques est attribué aux Rythmites du Saint-Maurice. Des rythmites saisonnières sont révélées par la palynologie. Le contenu pollinique (palynozone Donnacona 2) évoque une sapinière méridionale incluant des espèces thermophiles dont *Tsuga* et *Tilia*, progressivement remplacée par une pessière. L'unité de sables contenant les palynozones Donnacona 3 et la base de Donnacona 4 est corrélée aux Sables des Vieilles-Forges. Elle représente une détérioration climatique. L'unité sous le Till de Gentilly indique un environnement glaciolacustre contemporain d'une toundra forestière puis d'une toundra (partie supérieure de la palynozone Donnacona 4).

ABSTRACT *Palynology and lithostratigraphy at the Pleistocene Donnacona site, St. Lawrence Valley, Québec.* At Donnacona, a sequence of non-glacial sediments is intercalated between a lower glacial complex and the Gentilly Till. The lower complex consists of a basal till, ice margin deposits, a diamicton, some varves, a till and an upper rudite. The intermediate stratified sequence includes three units: silt and sand with plant debris, dated at >35,000 BP (UQ-678), stratified coarse sands and a massive silt. The paleoenvironments are assessed from the pollen spectra and concentrations, the taxonomic diversity and the sedimentology. The pollen diagram is divided into four palynozones by statistical treatment. Pollen study demonstrates that the intermediate stratified deposits at Donnacona are younger than the St. Pierre Sediments, except a thin lower zone (palynozone Donnacona 1 with dominant *Picea* and *Abies*) which is correlated with the upper part of the St. Pierre Sediments. The remainder of the unit with plant debris is correlated with the Saint-Maurice Rhythmites. Pollen analysis revealed that this unit contains seasonal rhythmites. The pollen content (palynozone Donnacona 2) indicates that a southern *Abies* forest, which included thermophilous species such as *Tsuga* and *Tilia*, was gradually replaced by a *Picea* forest. The coarse sand unit contains the Donnacona 3 and the lower part of Donnacona 4 palynozones. It is related to the Vieilles-Forges Sands and to a climatic deterioration. The unit below Gentilly Till was deposited in a glacial lake coeval with a forest tundra and later with a tundra (upper part of palynozone Donnacona 4).

ZUSAMMENFASSUNG *Pollen-Analyse und Lithostratigraphie im Pleistozän bei Donnacona, Saint-Laurent-Tal, Québec.* Bei Donnacona ist eine Sequenz nicht glazialer Sedimente zwischen einen tieferen glazialen Komplex und die Grundmoräne von Gentilly eingefügt. Der untere glaziale Komplex umfaßt ein Basaltill, Ablagerungen von dem glazialen Saum, ein Diamikton, einige Warven, eine Grundmoräne und eine darüberliegende Rudite. Die mittlere Sequenz besteht aus drei Einheiten: Schlamm und Sand, die sehr viel pflanzliche Überreste enthalten und die auf > 35 000 v.u.Z. (UQ-678) datiert werden, geschichteter Sand und massiver Schlamm. Die Interpretation der Paläoumwelt der Sequenz berücksichtigt Pollen-Spektrum und -Konzentration, die Vielfalt der Systematik und der Natur der Sedimente. Eine statistische Verarbeitung hebt vier Palynozonen hervor. Die Pollen-Analyse zeigt, daß die geschichteten mittleren Ablagerungen von Donnacona in der Tat jünger als die Sedimente von Saint-Pierre sind mit Ausnahme einer feinen unteren Zone (Palynozone Donnacona 1 mit Dominanz von *Picea* und *Abies*), die mit der Spitze der Sedimente von Saint-Pierre korreliert wird. Der Rest der Einheit mit organischen Fragmenten wird den Rythmiten von Saint-Maurice zugeordnet. Die Pollen-Analyse deckt saisonbedingte Rythmite auf. Der Pollen-Gehalt (Palynozone Donnacona 2) weist auf einen südlichen Tannenwald, der thermophile Arten wie *Tsuga* und *Tilia* enthielt und allmählich durch einen *Picea*-Wald ersetzt wurde. Die Sandeinheit, welche die Palynozonen Donnacona 3 und die Basis von Donnacona 4 enthält, wird mit dem Sand von Vieilles-Forges korreliert. Sie stellt eine Klimaverschlechterung dar. Die Einheit unter der Grundmoräne von Gentilly weist auf eine glaziallimnische Umwelt, die mit einer Wald-Tundra und dann einer Tundra zeitlich zusammenfiel (oberer Teil der Palynozone Donnacona 4).

INTRODUCTION

Dans le cadre de la révision de la stratigraphie du Quaternaire de la vallée du Saint-Laurent, des études palynologiques sur les unités non glaciaires ont été entreprises parallèlement aux levés lithostratigraphiques de Bernier et Occhietti (1990), Besré et Occhietti (1990) et Ferland et Occhietti (1990 a et b). Une première série de résultats a permis de redéfinir le contenu pollinique des Sédiments de Saint-Pierre et de la base des rythmites sus-jacentes (Clet et Occhietti, 1988).

Ce texte porte sur l'analyse palynologique de la coupe de Donnacona, localisée dans le haut estuaire du Saint-Laurent et dont les sédiments du Pléistocène supérieur étaient connus mais peu étudiés. Cette coupe représente un important jalon entre les coupes de la vallée centrale du Saint-Laurent, notamment celles de Saint-Pierre-les-Becquets et de Deschaillons, et les coupes de l'estuaire moyen, en particulier celles de l'île aux Coudres. La coupe est située sur la rive nord du Saint-Laurent, à 40 km en amont de Québec (fig. 1). Décrite pour la première fois par Coleman (1941), elle a été réétudiée par Karrow (1957) qui établissait alors une corrélation entre les sédiments à matière organique de ce site et les Sédiments de Saint-Pierre. Terasmae (1958, p. 21) confirmait cette corrélation en comparant les assemblages polliniques (observés de façon exploratoire et non publiés) de Donnacona à ceux des dépôts non glaciaires anciens trouvés aux Vieilles-Forges, eux-mêmes semblables à ceux de Saint-Pierre-les-Becquets et de Pierreville. Il attribua une origine interstadaire à ces unités, avec une végétation essentiellement coniférienne dominée par les épinettes (*Picea*) et développée sous un climat de 2 à 3°C plus froid que le climat actuel. Il notait l'absence du pollen de la pruche (*Tsuga canadensis*), omniprésent à l'Holocène, et soulignait la faible représentation pollinique des essences caducifoliées (<5 % du total) et de celle du sapin baumier (*Abies balsamea*) toujours inférieure à 10 %. Soulignons que les diagrammes polliniques de ces unités dressés par Terasmae montrent peu de variations verticales.

L'objectif de l'article est triple: 1) préciser la lithostratigraphie de la coupe de Donnacona; 2) procéder à une analyse détaillée du contenu sporopollinique des différents dépôts non glaciaires de la coupe; 3) élaborer une méthode d'analyse et d'interprétation des assemblages sporopolliniques adaptée aux dépôts anciens, qui tienne compte de la nature des sédiments, de la diversité taxonomique et de la concentration du contenu sporopollinique.

LITHOSTRATIGRAPHIE DE LA COUPE DE DONNACONA

La coupe de Donnacona est localisée sur la rive droite de la rivière Jacques-Cartier, à 500 m de la confluence avec le Saint-Laurent. Les unités sont disposées sur un front de 200 m de large et de 48 m de hauteur (fig. 2 et 3) (Occhietti *et al.*, 1989). La lithostratigraphie a été reconstituée en plusieurs années, soit par déblaiement à la pelle, soit à la faveur d'éboulements. Les unités suivantes ont été observées, de bas en haut (fig. 2 et 3):

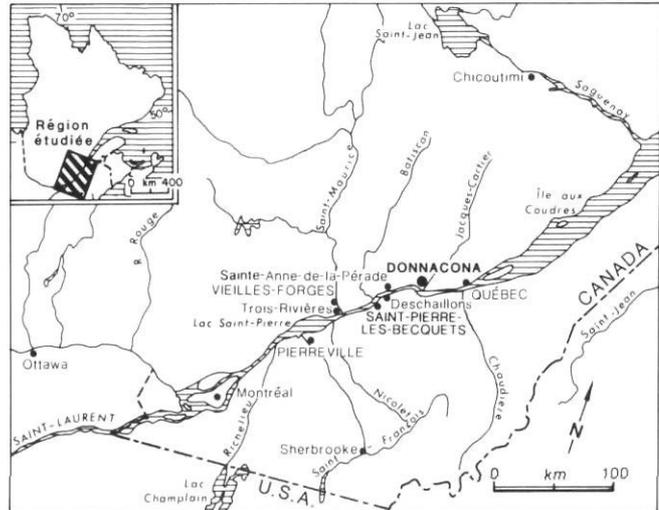


FIGURE 1. Carte de localisation.

Location map.

I. Till inférieur, de 5 m d'épaisseur environ. Le till est très compact, gris, à matrice sablo-silteuse et carbonatée. Il est fissile, avec des zones sableuses. Les éléments figurés sont très abondants. C'est un till de fond.

II. Complexe de rudites, diamictos et varves, d'environ 12 m d'épaisseur. Ce complexe est composé de trois ensembles de dépôts indiquant une sédimentation de marge glaciaire dans un lac proglaciaire. L'ensemble inférieur est une rudite interstratifiée, de 6 à 14 m d'épaisseur, composée de plusieurs lithozones. L'ensemble intermédiaire est un diamicton gris de 5 à 10 m d'épaisseur. Le diamicton à matrice sableuse contient de fréquents gros blocs de gneiss et des cailloux striés de calcaire et de schiste. L'ensemble supérieur est peu épais, de 0,5 m à 1 m. Observé d'un bord à l'autre de la coupe, sauf à l'extrémité orientale, cet ensemble est représenté par plusieurs varves et parfois des lits de sable stratifié et d'argile silteuse, interlités de lits de diamicton fin. Les varves contiennent de très rares grains de pollen (32 à 125 grains/cm³) corrodés.

III. Till gris, de 5,5 à 6,5 m d'épaisseur. Le till est très sableux, gris foncé, fissile et contient de nombreux petits cailloux. La fréquence d'éléments figurés sédimentaires est plus grande que dans le till I. La compaction est moyenne. Des lits sableux et de gravier sont intercalés dans le till. Le till est coloré en rouge sur environ 1 m d'épaisseur en partant du sommet. L'analyse minéralogique de la fraction argileuse, composée de quartz, feldspath, illite, n'indique pas d'altération.

IV. Rudite dont l'épaisseur varie latéralement. Elle est représentée par un amas de blocs à matrice de cailloux et de sable grossièrement stratifiés, au centre ouest de la coupe. Elle est réduite à un pavage au centre de la coupe. Les blocs sont composés en majorité de gneiss du Bouclier. Lorsqu'elle est peu épaisse, cette unité est très lessivée. Le contact avec l'unité sus-jacente est très tranché au centre et à l'est de la coupe. Une origine fluvioglaciaire est attribuée à cette unité. Le pavage sommital indique une surface d'érosion et un

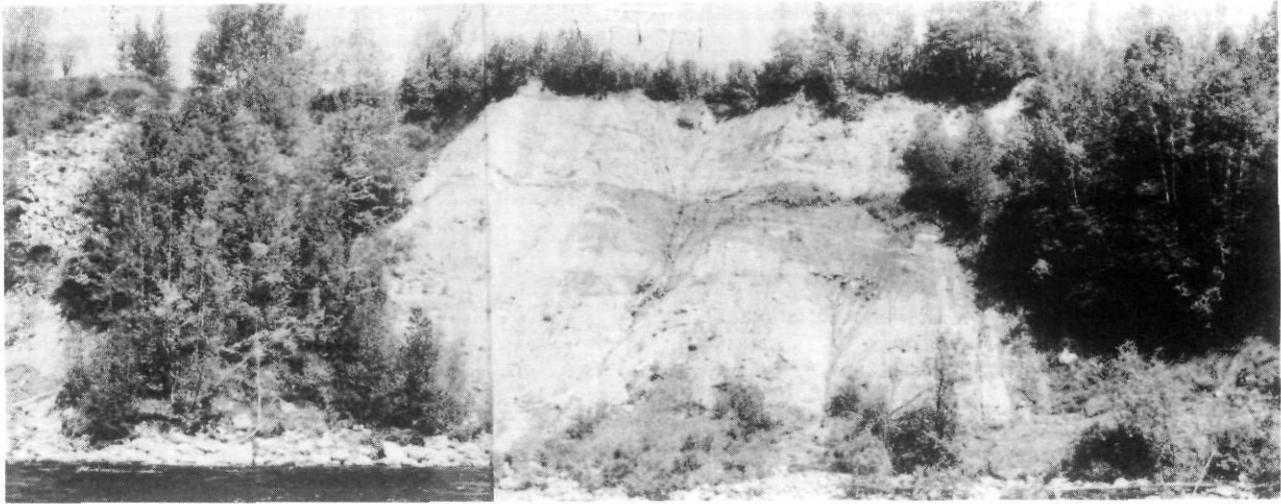


FIGURE 2. Vue d'ensemble de la coupe de Donnacona. La coupe fait face au sud.

General view of the Donnacona section. The section is exposed to the south.

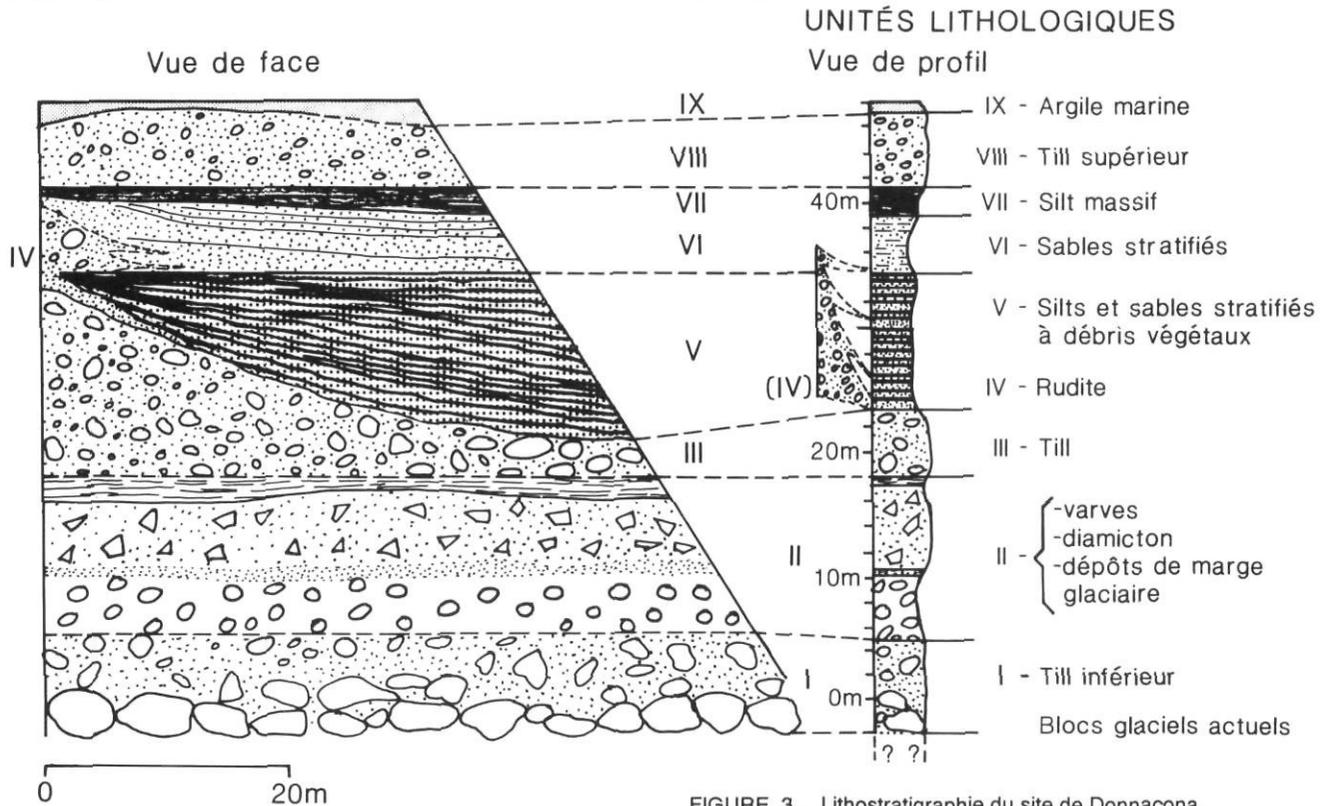


FIGURE 3. Lithostratigraphie du site de Donnacona.

Lithostratigraphy at the Donnacona site.

remaniement de type fluvatile. La surface d'érosion est inclinée (fig. 2).

V. Silts stratifiés à matière végétale disséminée (fig. 4). L'unité comble une dépression. Son épaisseur varie de 0 à 14 m. Les lits sont en biseau à l'échelle de la coupe; ils sont sécants vers l'ouest et s'épaississent vers l'est. Des lits de sable détritique stratifié, de quelques centimètres à 2 m d'épaisseur, sont intercalés dans la séquence silteuse. Leur épaisseur augmente vers l'ouest. Les silts contiennent de la matière organique et des brindilles disséminées, respecti-

vement datées au ^{14}C : > 44 470 BP (Y-463; Karrow, 1957) et > 35 000 BP (UQ-678). L'unité semble résulter de la décantation de boues à matière organique et de débris végétaux dans des eaux peu profondes, périodiquement envahies par des courants à l'origine des lits de sable. Elle est l'objet de la majeure partie de l'analyse pollinique du site et sa description lithologique de détail sera reprise avec celle du contenu sporopollinique.

VI. Sables jaunes, grossiers, stratifiés, de 5 m d'épaisseur en moyenne (fig. 4). La stratification est parallèle, faiblement

inclinée (fig. 5). Le matériel atteint la taille des galets vers le rebord ouest de l'unité, à proximité de la rudite IV. L'unité VI évoque un épandage fluvial (delta lacustre) et le remaniement local des anciennes rudites fluvio-glaciaires en position latérale. Elle indique une reprise d'érosion fluviale. L'unité est coiffée d'une zone de transition composée de lits de silt et de sable interstratifiés de 1 m d'épaisseur et déformée latéralement.

VII. Silt massifs (fig. 4 et 5). Ces silt sablonneux massifs ou à structure bréchique ou à stratification très déformée varient de 2 à 3,5 m d'épaisseur. Un lit diamictique inférieur, discontinu, a été observé. Un lit de sable jaune, de 0,4 m d'épaisseur, coiffe l'ensemble très déformé. Ces silt sont fortement oxydés, enrichis en oxyde de fer.

VIII. Till supérieur, de 2 à 6 m d'épaisseur (fig. 5). Ce diamicton est un sable compact, massif et fissile, contenant des

UNITÉS		ÉPAISSEURS CUMULÉES	LITHOLOGIE	ZONES POLLINIQUES	
				descriptives	interprétées
VIII	Till de Gentilly	42	Till sableux		
VII	Silt massif	40	Sable argileux	VII - 2	Donnacona 4
			Silt massif oxydé		
		38	Lit sableux	VII - 1	
			Silt gris Lit diamictique		
VI	Sables stratifiés	36	Silt et sables oxydés	VI - 2	Donnacona 3
		34	Sable grossier stratifié avec lits graveleux et silteux	VI - 1	
		32			
V	Silt et sables stratifiés à débris végétaux	30	Silt	V 3	Donnacona 2
			Sable		
			Silt		
		28	Silt avec matière organique		
			Sable grossier		
		26	Silt	V2 b	
			Sable fin		
		24	Intercalations de lits silteux et de lits sableux		
			Sable	V2 a	
			Silt argileux		
22	Sable à rides de courant	V - 1b			
	Silt et sable fins				
	Lit de sable				
20	Silt laminés à matière organique	V - 1a			
	Silt lamine				
18	Sable				
IV ou III	Rudite ou till		Silt massif		Donnacona 1
			Pavage de galets		

FIGURE 4. Lithozones des unités V, VI et VII.

Lithozones of Units V, VI and VII.

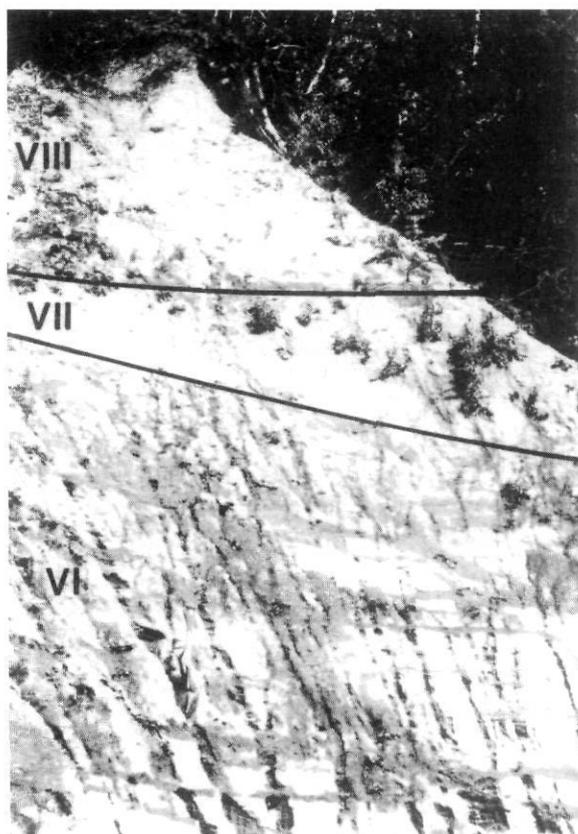


FIGURE 5. Détail de la partie supérieure de la coupe de Donnacona. VI = Sables grossiers stratifiés, équivalents des Sables des Vieilles-Forges. VII = Silt massif. VIII = Till de Gentilly.

Detailed view of the upper part of the Donnacona section. VI = Coarse stratified sands, related to the Vieilles-Forges Sands. VII = Massive silt. VIII = Gentilly Till.

éléments figurés de petite taille. Il est corrélé au Till supérieur de Gentilly défini par Gadd (1971).

IX. Silts et argiles de la Mer de Champlain, de 0,20 à 2 m d'épaisseur, au sommet de la coupe.

Les levés exploratoires de Coleman (1941), Karrow (1957) et Terasmae (1958) avaient permis d'identifier un till inférieur, un dépôt stratifié à débris végétaux associé aux Sédiments de Saint-Pierre et un till supérieur corrélé au Till de Gentilly. Le till inférieur représente en fait un complexe glaciaire, appelé till de Donnacona par Occhiatti (1989). D'autre part, le dépôt stratifié est composé de plusieurs unités non glaciaires que le contenu sporopollinique permettra de définir plus précisément. Les deux unités stratifiées V et VI se terminent en biseau, à la bordure d'une accumulation plus ancienne de dépôts de marge glaciaire.

MÉTHODES D'ANALYSE ET D'INTERPRÉTATION DU CONTENU SPOROPOLLINIQUE DES DÉPÔTS STRATIFIÉS

ÉCHANTILLONNAGE

L'échantillonnage a été étendu à toutes les unités lithologiques non glaciaires de la coupe, sans privilégier par-

ticulièrement les sédiments les plus riches en matière organique. Les unités ont été échantillonnées tous les 5, 10, 20 ou 30 centimètres selon les cas, de manière à établir complètement la diversité de la palynoflore, les variations palynostratigraphiques éventuelles et de mieux cerner les milieux correspondants.

MÉTHODE DE PRÉPARATION

L'analyse palynologique, effectuée par la première auteure, a été menée sur l'unité non glaciaire V. Cent trente et un échantillons ont été prélevés entre 18 et 31,50 m de hauteur, généralement tous les 10 cm (tous les 5 cm dans le premier mètre inférieur). Ces échantillons ont été préparés au Centre de géomorphologie du C.N.R.S. à Caen, selon la méthode de Frenzel améliorée par Goeury et de Beaulieu (1979). L'attaque par HF a été faite à chaud. Une concentration à l'aide de la liqueur de Thoulet ($CdI_2 + KI$, densité 2,1) a toujours été suivie par une acétolyse. La détermination des grains de pollen et des spores a été effectuée au microscope optique au grossissement routinier de 500 sur une surface de 18×18 mm. L'analyse des échantillons des unités VI et VII, prélevés entre 31,50 et 41 m de hauteur, a été conduite au Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie de l'Université de Montréal par N. Morasse. Les échantillons y ont été traités selon la méthode de Faegri et Iversen (1975), sans intervention de liqueurs lourdes.

DÉNOMBREMENT DU CONTENU SPOROPOLLINIQUE

La totalité des grains de pollen et des spores identifiés a été comptabilisée. Les pourcentages sont calculés par rapport à la somme des grains de pollen des plantes vasculaires terrestres, somme qui avoisine les 300 grains en moyenne et qui a toujours dépassé une limite inférieure de 150 grains. Le pollen des plantes vasculaires aquatiques, les spores des Ptéridophytes et des sphaignes font tous partie de la catégorie hors-total; leurs pourcentages respectifs sont calculés par rapport au total des grains de pollen de la somme de base et du dénombrement du taxon hors-total considéré (fig. 6). Le pollen des Cypéracées pouvant provenir autant de plantes amphiphytes riveraines que de plantes strictement terricoles, certains auteurs (par exemple Jetté et Mott, 1989; Mott et DiLabio, 1990) en excluent les dénombrements de la somme pollinique de base, les reléguant à la catégorie hors-total. D'après Richard (1977) et Ritchie (1987), les Cypéracées ne montrent une représentation pollinique supérieure à 10 % que dans les zones de végétation forestière ouverte ou dans les zones non forestières, du moins dans les sédiments des lacs de quelques hectares de superficie. Nous avons dessiné des diagrammes avec et sans le pollen des Cypéracées inclus dans la somme pollinique. Dans le cas de la coupe de Donnacona, seule la courbe du rapport du pollen arboréen au total des grains (au centre de la fig. 6) s'en trouve affectée, l'allure des autres courbes polliniques n'étant pas sensiblement modifiée par l'inclusion ou l'exclusion des grains de pollen appartenant aux représentants de cette famille. Afin de faciliter les comparaisons avec les diagrammes produits par Mott et DiLabio (1990), la somme pollinique des diagrammes de la figure 6 exclut les grains de Cypéracées.

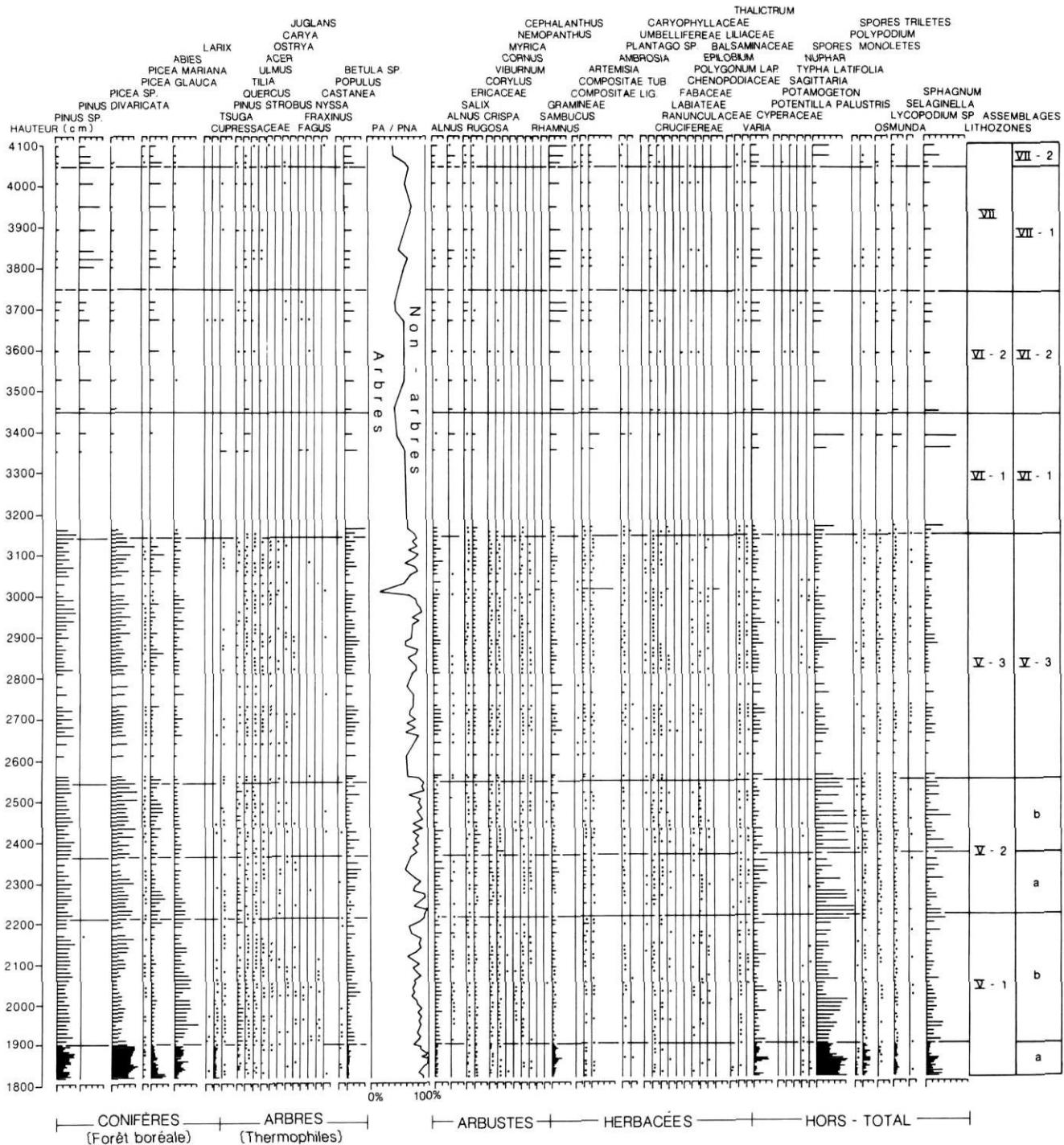


FIGURE 6. Diagramme et zonation pollinique des unités V, VI et VII. Les Cypéracées sont exclues de la somme pollinique. Les points représentent des valeurs inférieures à 1 %.

La concentration pollinique de l'unité V, donnée par gramme de sédiment, a été déterminée d'après la méthode de Jørgensen (1967). La concentration pollinique des unités VI et VII a été mesurée par la méthode d'enrichissement en pollen exotique (*Eucalyptus*); elle est également donnée par gramme de sédiment. La concentration présentée à la figure 7 est, dans tous les cas, celle de l'ensemble des taxons faisant partie de la somme pollinique de base.

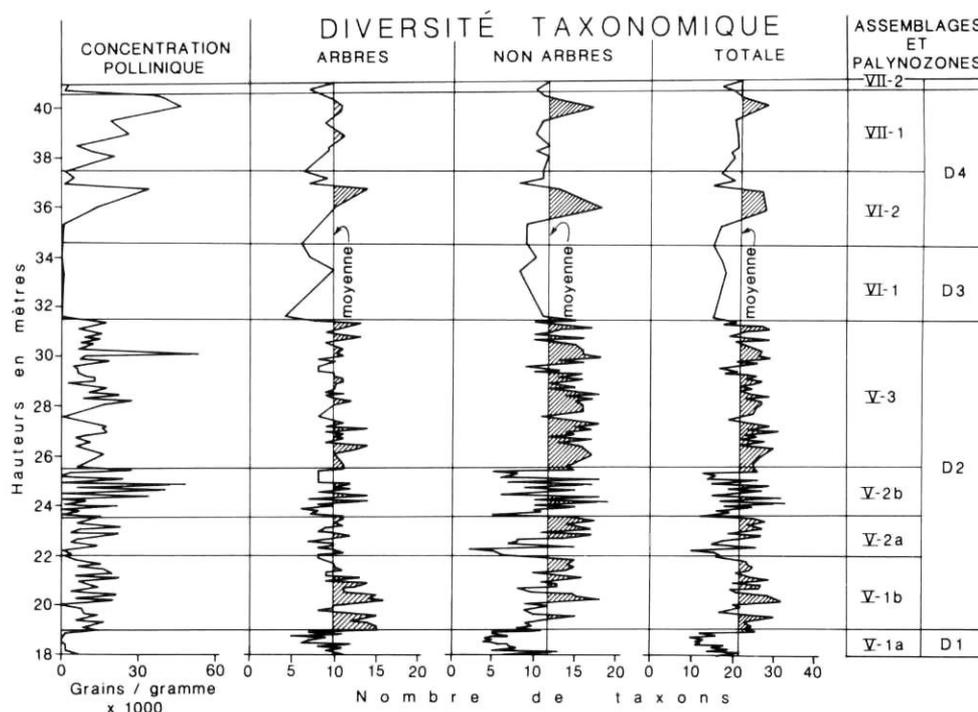
Pollen zonation and diagram of Units V, VI and VII. The Cyperaceae are excluded from the pollen sum. The dots represent values under 1 %.

CLASSIFICATION DU CONTENU SPOROPOLLINIQUE

Les grains de pollen et les spores reconnus dans cette coupe ont été répartis en six grands groupes physiologiques apparaissant dans le même ordre sur le diagramme (fig. 6), le rapport du pollen arboréen au total des grains inclus dans la somme pollinique de base (rapport PA/PNA) étant situé au centre du diagramme:

FIGURE 7. Concentration pollinique et diversité taxonomique des unités V, VI et VII.

Pollen concentration and taxonomic diversity of Units V, VI and VII.



1) les conifères de la forêt boréale, comprenant *Pinus divaricata*, *Picea* sp. (*Picea glauca* et *P. mariana*), *Abies*, *Larix* et des Cupressacées (*Thuja* ou *Juniperus*);

2) les arbres de la forêt tempérée tels *Tsuga*, *Pinus strobus*, *Quercus* sp., *Tilia*, *Ulmus*, *Acer* sp., *Ostrya*, *Carya*, *Juglans*, *Fagus*, *Fraxinus* et très rarement *Castanea* et *Nyssa*;

3) les arbres ou arbustes pionniers avec *Populus* et *Betula* sp. Le pollen de *Betula* est représenté dans les sédiments de la coupe de Donnacona par des grains à petit diamètre équatorial, laissant ainsi présumer que ce sont les espèces arbustives du genre qui étaient surtout présentes. Cela n'exclut toutefois pas la possibilité que le bouleau blanc (*Betula papyrifera*), notamment, ait été présent dans la végétation de l'époque;

4) les arbustes avec *Alnus rugosa* et *Alnus crispa*, *Salix* sp., Éricacées, *Corylus*, *Viburnum*, *Cornus* sp., *Myrica*, *Nemopanthus*, *Cephalanthus*, *Rhamnus* et, très rarement, *Sambucus*, *Sanguisorba*;

5) les herbacées, par ordre grossièrement décroissant de xérophilie: Graminées, Composées tubuliflores, *Ambrosia* et *Artemisia*, *Plantago* sp., *Rumex* sp.; les Umbellifères, les Caryophyllacées, les Rubiacées, les Crucifères, les Renonculacées, les Labiées, les Saxifragacées, les Rosacées, les Chénopodiacées, les Polygonacées (*P. lapathifolium*, *P. coccineum*), les Oenothéracées (*Epilobium*), les Balsaminacées, *Thalictrum* sp., les Cypéracées;

6) la catégorie des hors-totaux, comprenant:

— des plantes aquatiques avec *Polygonum amphibium*, *Potentilla palustris*, *Sagittaria*, *Typha* sp., *Nymphaea*, *Nuphar*;

— les Ptéridophytes: les spores monolètes indifférenciées, *Polypodium*, les spores trilètes indifférenciées, *Osmonda* sp.,

Lycopodium sp. (*L. annotinum*, *L. clavatum*, *L. selago*), *Botrychium*, *Selaginella*;

— les spores de Bryophytes: *Sphagnum*.

Ce regroupement des différents taxons rencontrés en groupes physiologiques permet d'obtenir une image globale des paysages végétaux qui se sont succédé.

ÉTUDE DE LA DIVERSITÉ TAXONOMIQUE

La diversité taxonomique des spectres polliniques fut établie afin de retracer les éventuelles variations de la richesse en taxons le long de la séquence sédimentaire (Goëury, 1988; de Beaulieu et Goëury, 1987). Seules les unités taxonomiques incluses dans la somme pollinique de base et retenues pour la confection du diagramme pollinique de la figure 6 sont prises en compte dans l'analyse de la diversité taxonomique.

La diversité taxonomique absolue s'exprime par le nombre de taxons identifiés dans un échantillon donné. Elle est illustrée sur la figure 7 avec distinction de la diversité arboréenne et non arboréenne. Les valeurs supérieures à la moyenne pour toute la coupe sont identifiées par des hachures, tant pour les plantes non arboréennes que pour les arbres. Ces données furent utilisées pour vérifier l'hypothèse suivante touchant la nature des sources du pollen rencontré dans les sédiments: un nombre élevé de taxons couplé à une forte concentration pollinique correspondrait à une source proximale du contenu pollinique; il n'y aurait alors que peu ou pas de transport du pollen de source lointaine; au contraire, un nombre faible de taxons correspondant à une faible concentration indiquerait un assemblage de source distale par rapport au milieu de dépôt, le pollen ayant été transporté par le vent ou par l'eau.

IDENTIFICATION DES ZONES POLLINIQUES SELON LA MÉTHODE DE GOEURY

L'étude statistique des données sporopolliniques a été réalisée avec le logiciel G3PAL mis au point par Goeury (1988) au Laboratoire de botanique historique et de palynologie de l'Université de Marseille (voir aussi de Beaulieu et Goeury, 1987). La méthode de Goeury effectue une zonation automatique des diagrammes polliniques. Cette méthode s'appuie sur une mesure de la ressemblance mutuelle des spectres polliniques le long du profil, livrant une matrice de coefficients de similarité matérialisés graphiquement par des tonalités (fig. 8). Les coupures sont identifiées visuellement, confrontées aux données des diagrammes, puis intégrées ou non dans la zonation. Les Cypéracées ont fait l'objet d'une

étude spécifique touchant la zonation automatique; leur exclusion ne modifie pas la zonation pollinique d'ensemble.

RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION DES DONNÉES DE BASE

Présentation des résultats

La description des différents assemblages sporopolliniques et leur interprétation en termes de végétation se feront pour chaque unité lithologique, à partir de la base de l'unité V jusqu'au sommet de l'unité VII sous la base du Till de Gentilly. Une description préliminaire du contenu pollinique de l'unité V a déjà été diffusée (Clet, 1987). Au sein de chaque unité lithologique, la zonation pollinique automatique livre les

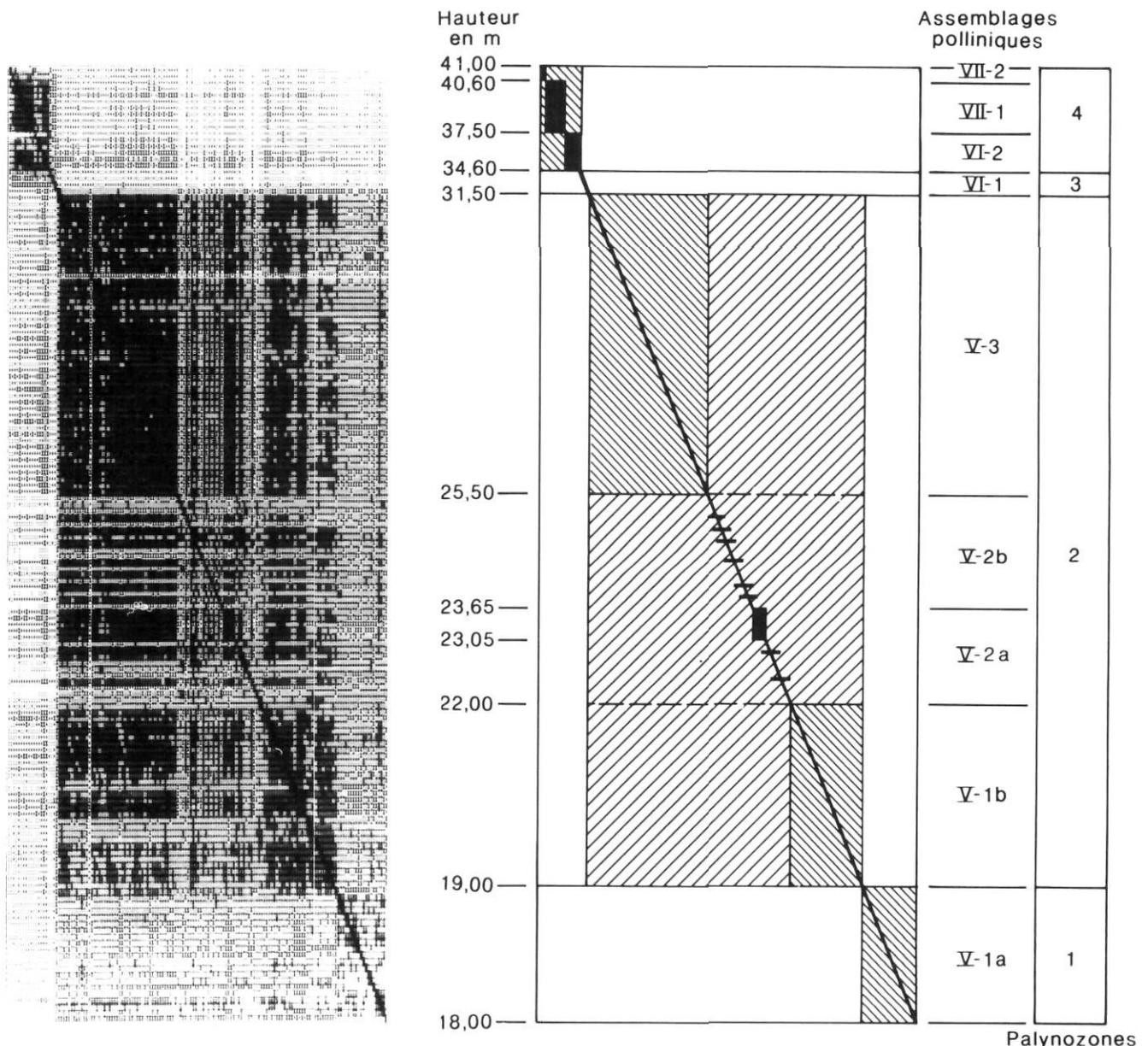


FIGURE 8. Zonation du diagramme pollinique des unités V, VI et VII de Donnacona, obtenue avec le logiciel G3PAL de Goeury (1988). Les Cypéracées sont exclues de la somme pollinique soumise au traitement informatique.

Zonation of the pollen content of Units V, VI and VII at Donnacona. The pollen zones are identified by using the G3PAL program of Goeury (1988). Cyperaceae are excluded from the computed pollen sum.

coupures majeures du diagramme, les zones correspondant soit à un seul type d'assemblage sporopollinique, soit à plusieurs assemblages que les critères de zonation automatique choisis regroupent en un ensemble. Les assemblages polliniques sont reconnus ici par la dominance, en pourcentages, de taxons majeurs ou par l'abondance de taxons guides pas nécessairement dominants. *A priori*, la palynostratigraphie ne reflète pas nécessairement les mêmes causes et effets que la lithostratigraphie. Pour cette raison, les assemblages décrits dans ce chapitre correspondent à des palynozones descriptives associées à des zones lithologiques aux caractéristiques homogènes. La classification de ces palynozones descriptives en termes de palynostratigraphie est introduite au chapitre de l'interprétation stratigraphique.

Limites et modalités de la reconstitution de la végétation

Un des problèmes principaux associé à la reconstitution palynologique de la végétation à partir des sédiments pléistocènes concerne la détermination des sources du pollen et des spores. En effet, les milieux de dépôt du matériel sporopollinique fossile sont le plus souvent très différents des petits lacs et des tourbières holocènes fournissant les spectres sporopolliniques auxquels ceux des sédiments pléistocènes non glaciaires sont généralement comparés. Conséquemment, les sources du pollen y sont sans doute différentes et les notions de végétation locale (lacustre, dans le cas d'un lac), extra-locale (riveraine, dans le cas d'un lac ou d'un marais), régionale (terrestre proximale) et extra-régionale (terrestre distale) n'y ont sans doute pas la même signification. Le caractère largement inorganique des sédiments de Donnacona laisse par ailleurs présumer que du pollen secondaire, dérivé du contenu sporopollinique des dépôts meubles environnants et donc antérieur à l'époque étudiée, puisse contribuer aux spectres polliniques enregistrés. Les apports sporopolliniques fluviaux y sont sans doute plus importants que les apports strictement éoliens. En outre, l'alternance de lits de silt et de sable implique des variations d'énergie qui peuvent contribuer soit à laver, soit à concentrer le contenu sporopollinique des sédiments.

L'interprétation s'appuiera d'abord sur un examen de la lithologie, afin de préciser le paléoenvironnement local et le milieu de dépôt du pollen et des spores; le type de sédiment (silteux, argileux, sableux, laminé, organique) est confronté aux données de concentration pollinique et de diversité taxonomique des spectres (Bernard et Pons, 1985; Goeury, 1988). La reconstitution de la végétation et l'interprétation climatique s'appuieront ensuite sur les données disponibles touchant la représentation pollinique et les conditions climatiques correspondant aux unités de la végétation actuelle du Québec (Richard, 1976, 1977).

Description du contenu sporopollinique des unités et signification des données sédimentologiques et palynologiques

UNITÉ V

L'unité V, reconnue entre 18 et 31,50 m, est formée principalement de silts stratifiés et de sables contenant de la ma-

tière organique. D'après la lithologie, trois grands ensembles ou lithozones sont présents (fig. 4):

— de 18 à 22 m (V-1), les sédiments sont des silts massifs ou laminés, contenant de la matière organique. Plus massifs à la base (de 18 à 19 m: V-1a), ils passent progressivement à des silts laminés dans lesquels existent quelques petites intercalations de sable. Ils se sont déposés dans un milieu mal drainé, parcouru par de faibles courants.

— de 22 à 25,50 m (V-2), après une lentille sableuse dans laquelle il y a trace de rides de courant indiquant un changement des conditions locales de sédimentation, il existe une alternance de lits silteux et de lits sableux très minces.

— de 25,50 à 31,50 m (V-3), les sédiments observés dans cette zone sont plus sableux. Leur dépôt correspond à un démantèlement plus important des dépôts latéraux, ayant nécessité une énergie plus grande.

Durant la période représentée par l'unité V, la sédimentation s'est effectuée dans un plan d'eau peu profond, comblé progressivement par des apports latéraux.

La zonation automatique des données polliniques permet de définir quatre zones polliniques descriptives dans l'unité V (fig. 8), les unités V-1a, V-1b, V-2 et V-3. On remarquera que la coupure entre V-1a et V-1b ne correspond pas à un changement sédimentologique significatif (fig. 4), ce qui traduit une relative indépendance entre le contenu pollinique et les caractères physiques des sédiments.

Zone V-1a (de 18 à 19 m)

La base de l'unité V est formée de silts gris très fins, massifs, dont la partie inférieure est très riche en matière organique. Déposés en milieu réducteur, ils dégagent actuellement une forte odeur de H₂S. Un lit fin sableux s'intercale dans ces silts, entre 18,40 et 18,60 m, laissant supposer l'existence de petits courants dans ce milieu mal drainé.

La concentration pollinique atteint des valeurs minimales dans cette zone pollinique. Elle varie de 178 à 5817 grains par gramme, les valeurs les plus élevées étant trouvées sous le lit sableux intercalé (fig. 7). Les sables de ce lit sont légèrement plus pauvres en pollen que les silts plus ou moins laminés qui les surmontent (18,60 à 18,95 m); la diversité taxonomique, surtout parmi les herbacées, y est inférieure à la moyenne de la zone.

Le nombre de taxons enregistré dans cette zone est régulièrement faible (9 à 18, exceptionnellement 22), tant chez les arbres que chez les taxons non arboréens. Bien que le type de sédiment indique une décontamination et qu'il soit riche en matière organique du moins à la base, la faible concentration pollinique et la faible diversité taxonomique pourraient refléter une dilution du contenu sporopollinique liée à un transport aquatique important des sédiments. Les sources du pollen paraissent ainsi assez distales. Dans la lentille sableuse, les proportions des Cypéracées, des Graminées, des spores monolètes (attribuables à des fougères) ou des sphaignes sont plus importantes (fig. 6), reflétant peut-être des variations dans la végétation riveraine. Enfin, le rapport PA/T avoisine 85 %, ce qui corrobore l'origine lointaine des sources

polliniques, cas où le pollen arboréen est toujours plus facilement représenté. Le rapport décroît légèrement dans l'ensemble de la zone.

Les spectres de la zone pollinique V-1a sont dominés par l'épinette (*Picea* sp.) et le pin (*Pinus* sp.) (fig. 6). La végétation correspondante pourrait s'apparenter à une pessière où les pineraies sont peu répandues (le genre *Pinus* étant fortement sur-représenté par son pollen), mais dans laquelle *Abies* joue un rôle important. L'abondance relative du pollen des Graminées pourrait indiquer l'existence d'une forêt ouverte, ce qui corroborerait la pauvreté taxonomique et la faiblesse des concentrations polliniques, mais elle peut aussi résulter d'une représentation accentuée d'une végétation riveraine de marais. La dominance de *Picea* pourrait donner une indication climatique: températures fraîches. Toutefois, *Abies* est aussi fortement représenté dans cette zone que dans l'ensemble des domaines de végétation des sapinières actuelles (Richard, 1968, 1976). *Picea mariana* est la principale espèce enregistrée dans le maximum pollinique du genre; on peut donc concevoir un paysage riverain dans lequel de vastes tourbières hébergent cette essence et favorisent sa représentation pollinique élevée du fait de sa plus grande proximité du milieu de dépôt. Le pollen des Cupressacées pourrait être attribuable à *Thuja occidentalis*, le cèdre étant aussi tourbicoles et riverain. La végétation des stations mésiques serait donc surtout constituée de sapinières incluant l'épinette noire et le pin gris; très peu d'autres essences participaient à la sylvie. C'est du moins ce qui peut être déduit d'une comparaison avec les spectres produits par les sapinières actuelles: toutes hébergent entre autres des bouleaux dont la représentation pollinique se situe toujours au-dessus de 30 à 40 %. Les faibles pourcentages polliniques de *Betula* (< 10 %) permettent de conclure à l'absence virtuelle d'arbres appartenant à ce genre dans la végétation environnante.

Zone V-1b (de 19 à 22 m)

Au-dessus, sur environ 2 m, on trouve une zone de silts gris plus ou moins argileux. Ces silts sont stratifiés et contiennent toujours de la matière organique. Vers 21,50 m, le sédiment devient plus sableux (fig. 4).

La zone pollinique V-1b est d'abord marquée par une très nette augmentation de la concentration pollinique des sédiments (fig. 7) qui y varie généralement de 4000 à 22 000 grains par gramme (moyenne: 11 135 grains/g dans les silts, 3513 grains/g dans les lits sableux). Par ailleurs, la diversité taxonomique des spectres polliniques augmente aussi par rapport à la zone précédente; la diversité des arbres double et celle des taxons non arboréens augmente presque autant (fig. 7). Plusieurs lits, surtout entre 19 et 21 m, ont une diversité arborescente supérieure à la moyenne de 10 établie pour l'ensemble de la coupe. Il en est de même pour les taxons non arboréens, dont la moyenne est de 12 pour l'ensemble de la coupe et qui montrent une diversité taxonomique maximale entre 20 et 22 m. Ces données traduisent des apports polliniques de sources plus proximales que dans la zone V-1a, et peut-être aussi une densification du couvert végétal. Le rapport PA/T décroît dans cette zone, sans doute en raison de l'augmentation de la représentation pollinique de la végéta-

tion riveraine. En effet, l'augmentation des pourcentages d'*Alnus rugosa*, des Cypéracées, des Ptéridophytes et de *Sphagnum* indique probablement un accroissement du couvert végétal des rives (fig. 6).

Les spectres polliniques de la zone V-1b sont marqués par le maximum de représentation d'*Abies balsamea*; la proportion de ce taxon avoisine 25 %, du moins dans les deux premiers mètres de l'unité, et conserve des valeurs élevées jusque dans la base de la zone pollinique suivante. De 19 à 21 m environ, le pollen des arbres thermophiles est beaucoup plus abondant et diversifié que dans la zone précédente V-1a ou que dans les lits supérieurs à 21 m. Il s'agit surtout de *Pinus strobus* et de *Quercus*, mais aussi de *Tilia*, *Ulmus*, *Tsuga*, *Acer* et de quelques *Juglans*, *Carya*, *Nyssa*, *Fraxinus*. La courbe de *Tilia*, en particulier, retient l'attention car les pourcentages atteints ici sont comparables à ceux des domaines actuels de l'érablière du sud du Québec. La végétation correspondante s'apparente donc à une sapinière riche hébergeant sans doute des essences appartenant aujourd'hui à la forêt mixte tempérée, une formation végétale qui s'est alors développée sous une influence climatique plus chaude et plus humide que dans la zone V-1a.

Le pollen de *Betula* augmente par rapport à la zone précédente (environ 10 %). Il est représenté par des grains à petit diamètre équatorial, évoquant les espèces arbustives du genre. Il peut s'agir encore d'espèces tourbicoles colonisant les tourbières riveraines abritant aussi l'épinette noire, qui reste bien représentée par son pollen (15 à 30 %; voir fig. 4). Les bouleaux arborescents devaient être rares ou inexistant au sein de la végétation régionale, ce qui distingue nettement les sapinières associées à l'unité V-1b de celles des domaines de végétation actuels de sapinières où la représentation pollinique de *Betula* est toujours forte.

Entre 21 et 22 m, le pollen du genre *Picea* redevient dominant (20 à 45 %), avec celui du pin (*Pinus*). Les proportions du pollen d'*Abies* diminuent mais, surtout, *Pinus strobus* et *Quercus* deviennent beaucoup moins bien représentés par leur pollen. Cela paraît constituer un appauvrissement du couvert végétal régional des stations mésiques, la fin de l'acmé pour la sylvie représentée dans la coupe de Donnacona.

Zone V-2 (de 22 à 25,50 m)

Dans cette lithozone, il y a alternance de lits sableux et de lits silteux. Deux sous-ensembles sédimentaires peuvent y être distingués: le premier va de 22 à 23,60 m (V-2a) et présente des lits de 30 à 50 cm d'épaisseur; le deuxième, qui va de 23,60 à 25,50 m (V-2b), montre une alternance assez régulière de lits sableux et de lits silteux de 10 ou 20 cm d'épaisseur.

Il est intéressant de noter que la zonation automatique du diagramme pollinique (fig. 8) correspond ici aux variations sédimentologiques. En effet, à l'intérieur de la zone V-2, elle permet d'établir des coupures à 22,45 m, 22,75 m, 23,05 m et 23,65 m traduisant des variations polliniques calquées sur les types de sédiments (fig. 4 et 6). Il est tentant d'y voir une relation de causalité.

L'examen des données montre l'absence de lien entre la texture des sédiments et la concentration pollinique ou la diversité taxonomique. Les couches sableuses, par exemple, peuvent tout aussi bien être riches en pollen et montrer une diversité taxonomique élevée que l'inverse. Les légères variations des assemblages polliniques (fig. 6), notamment d'*Abies*, *Picea*, *Betula*, puis d'*Alnus*, des Graminées et des Composées paraissent ainsi refléter des changements dans la végétation source du pollen, et non traduire les variations du milieu de dépôt ou des modalités de sédimentation.

Le deuxième sous-ensemble (V-2b), de 23,60 à 25,50 m, est tout autre. La concentration pollinique y est très variable et alterne régulièrement entre lits silteux et lits sableux, les lits sableux étant les plus riches en pollen et présentant tout aussi systématiquement la diversité taxonomique la plus élevée, tant chez les arbres que chez les arbustes ou les plantes herbacées. Cette richesse pollinique et cette diversité taxonomique inattendues des lits sableux est en faveur de l'hypothèse d'une lithozone V-2b composée de rythmites annuelles où les lits de printemps et d'été sont riches en pollen et les lits d'hiver, silteux et pauvres en pollen. L'examen du diagramme pollinique montre également que dans la zone V-2b, les spores (spores monolètes, spores trilètes, *Sphagnum*) présentent systématiquement une représentation maximale dans les lits silteux pauvres en pollen. Ce caractère, non manifeste dans les autres zones de la coupe, n'est pas expliqué.

C'est dans la zone pollinique V-2 que la diversité taxonomique et la concentration pollinique sont les plus variables, les concentrations des lits basaux et des lits sommitaux de ce corps sédimentaire montrant par ailleurs des valeurs régulièrement faibles de moins de 5000 grains par gramme (fig. 7). On peut concevoir un milieu de dépôt dans lequel il y aurait eu une alternance de plans d'eau tranquilles et de chenaux.

Le rapport PA/T de la zone pollinique V-2 est variable (fig. 6) mais montre une tendance à la diminution d'abord, puis à l'augmentation; cela reflète sans doute des changements dans la densité et la richesse de la végétation riveraine, ce comportement paraissant essentiellement attribuable à *Alnus rugosa*, aux Graminées, aux Composées et à *Betula* (représenté ici par des grains de pollen à petit diamètre équatorial). Les Cypéracées sont représentées par des pourcentages maximaux au centre de la zone.

Les spectres polliniques de la zone V-2 montrent d'importantes variations dans la représentation des arbres. Moins diversifiés que dans la zone précédente, on peut par ailleurs y déceler un déclin dans la représentation des sapinières au profit des pessières qui paraissent dominer par la suite. La représentation de *Pinus strobus* s'atténue aussi au sein de la zone. Le climat correspondant pourrait avoir été plus rigoureux qu'à la base de la coupe puisque *Picea* devient l'espèce dominante. Il se peut toutefois que l'augmentation de la représentation pollinique de *Picea* corresponde surtout à un développement des tourbières boisées riveraines, sans grands changements de la composition floristique dans la végétation régionale, notamment dans les stations mésiques. Le diagramme traduirait ainsi essentiellement, dans la zone

V-2, des modifications ayant affecté la périphérie du milieu de dépôt. La connotation climatique traduisant un refroidissement s'en trouverait alors diminuée.

Zone V-3 (de 25,50 à 31,50 m)

De 25,50 à 28,10 m, les sédiments sont essentiellement sableux, avec un lit silteux entre 26,60 et 27,20 m. De 28,10 à 31,50 m, il s'agit de silts interrompus par deux lits sableux à 28,80 et de 30,10 à 30,50 m. Rappelons que l'ensemble de ce corps sédimentaire résulterait du démantèlement des dépôts meubles environnants, avec une énergie plus grande qu'à la base de l'unité.

La zonation automatique des données (fig. 8) ne livre aucune coupure nette dans les spectres de la zone pollinique V-3. La concentration pollinique (fig. 7) y est régulièrement forte (entre 5985 et 17 900 grains par gramme) avec quelques lits dépassant 20 000 grains par gramme, en particulier le lit sableux à 30,10 m (plus de 55 500 grains/g). La diversité taxonomique est elle aussi régulièrement élevée par rapport à l'ensemble de la coupe, en raison surtout de l'augmentation du nombre de taxons non arboréens. Aucune fluctuation des valeurs de la concentration ou de la diversité ne paraît liée aux variations du type de sédiment.

La représentation pollinique des arbres diminue généralement au sein de la zone pollinique V-3, au profit de celle des herbacées qui atteignent parfois de fortes valeurs. Par exemple *Artemisia* atteint une concentration totale de 22 200 grains par gramme dans le lit sableux à 30,10 m, soit 35 % de représentation relative. Les courbes polliniques d'*Alnus rugosa*, de *Betula* (toujours arbustif), des Éricacées ou de celle des Graminées sont les plus importantes ou les plus continues.

Le contenu en débris végétaux de certains lits peut être très abondant. Ces débris sont aplatis, généralement peu identifiables. Deux échantillons ont permis de reconnaître des aiguilles de *Picea* sp., des tiges et des tiges feuillées de mousse, des tiges de *Polytrichum* sp., des bourgeons de *Salix* sp., des graines de *Viola* sp., de *Sparganium* sp., de *Potamogeton* sp. et de *Chenopodium* sp. ou *Corydalis* sp. et, enfin, des élytres de coléoptère (A. Larouche, Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie, Université de Montréal, rapport écrit, 1987).

D'après les courbes polliniques de *Picea*, *Abies* et *Pinus*, le paysage végétal ne semble pas subir de grandes variations durant la période représentée par l'accumulation sédimentaire allant de 25,50 à 31,50 m. Les pessières (mésiques ou riveraines) devaient côtoyer les sapinières, ou les deux genres pouvaient être mélangés dans des peuplements mixtes; les pins devaient être assez rares. Par rapport à la zone précédente, l'augmentation de la représentation pollinique de *Betula* peut traduire une certaine ouverture du couvert végétal forestier ou représenter un développement de bétulaies naines riveraines. L'ensemble évoque néanmoins une certaine détérioration des conditions climatiques générales, bien que certains spectres (comme autour de 30,50 m) montrent des indices de thermophilie relative par une augmentation de la représentation de *Quercus* et de *Tilia*.

UNITÉ VI

L'unité VI de 31,50 à 37,50 m est formée principalement de sédiments sableux plus ou moins grossiers et de quelques lits silteux. La partie supérieure de l'unité est composée de lits de sable et de silt. La zonation automatique livre une coupure nette à 34,60 m, permettant de délimiter une zone VI-1 d'une zone VI-2.

Zone VI-1 (de 31,50 à 34,60 m)

La limite entre l'unité V et l'unité VI à 31,50 m est nette. C'est une lacune d'érosion mineure sur le bord ouest de l'unité V. L'unité VI est attribuée au démantèlement des rudites latérales par une reprise de l'érosion fluviale. Cette hypothèse est confirmée par la très faible concentration pollinique de la zone, entre 150 et 535 grains par gramme de sédiment, et une diversité pollinique inférieure à la moyenne, tant dans le groupe des espèces arboréennes que dans le groupe des herbacées. Un transport important semble donc évident. Les forts pourcentages épisodiques de *Tsuga*, de *Fagus* et de *Fraxinus* à 33,50 m et de *Quercus* à 34 m ne sont pas statistiquement significatifs.

Les spectres polliniques dans cette zone paraissent assez indépendants les uns des autres et sont dominés soit par un genre de *Betula* dont les grains ont un petit diamètre, soit par *Pinus banksiana*. La dominance de *Pinus* sur *Picea* et la relative abondance des Graminées peut indiquer la présence d'une forêt ouverte. *Abies* est presque absent dans cette zone. *Artemisia* ainsi que les spores de Ptéridophytes et de *Sphagnum* ont une importance relativement grande, surtout à 34 m.

Le paysage régional pourrait avoir été couvert surtout par des espèces non arboréennes et l'ensemble des spectres polliniques correspond à des grains de pollen et des spores remaniés et transportés.

Zone VI-2 (de 34,60 à 37,50 m)

À la base de la zone VI-2, il existe deux lits de silts à 36 et à 36,75 m dans lesquels la concentration pollinique devient plus forte (14 233 et 34 410 grains/g), alors que la lentille sableuse intercalée entre ces lits est pratiquement stérile (74 grains par gramme). La diversité taxonomique est également plus forte que la moyenne parmi les espèces arboréennes et non arboréennes. Il semble que la végétation s'implante de nouveau sur les rives. Les pourcentages de *Picea* équivalent ceux de *Pinus*; *Picea mariana* est plus abondant qu'en zone VI-1, tandis que les pourcentages de spores de Ptéridophytes et de *Sphagnum* décroissent.

Au-dessus, dans une lentille de sables oxydés (de 37 à 37,50 m), la concentration pollinique décroît de nouveau et varie entre 1137 et 4827 grains par gramme. La diversité pollinique est également plus faible. Il semble y avoir de nouveau un transport des sédiments et l'apport de pollen et de spores remaniés. *Pinus* est dominant et *Abies* est totalement absent. Le pourcentage de grains de pollen arboréen diminue et ne dépasse pas 51. Les Caryophyllacées, en courbe continue depuis 34,60 m, atteignent ici leurs pourcen-

tages maximaux. Les Graminées et les Cypéracées ont de forts pourcentages. Il n'y a pas de changements majeurs dans la végétation reflétée par les spectres polliniques.

UNITÉ VII

L'unité VII, de 37,50 à 41 m, est constituée de silts gris, massifs et oxydés vers le sommet. La sédimentation correspond à un milieu plus profond et plus calme.

Zone VII-1 (de 37,50 à 40,60 m)

Dans cette zone, la concentration pollinique s'accroît (fig. 7) et devient très forte, surtout au dessus de la lentille sableuse présente à 38,50 m. Elle varie entre 19 768 et 47 110 grains par gramme. La diversité pollinique est proche de la moyenne de l'ensemble de la coupe tant pour les espèces arboréennes que pour les espèces non arboréennes. *Pinus* est dominant sur *Picea*, malgré un niveau où *Picea mariana* est plus développé.

Zone VII-2 (de 40,60 à 41 m)

Sous le till de l'unité VIII, au dessus des silts massifs, existe une lentille de sables argileux dans laquelle des déformations dues à la glaciectonique sont présentes. La concentration pollinique est de nouveau faible et varie entre 2054 et 3003 grains par gramme. Les proportions d'herbacées augmentent. Les sphaignes se développent et les pourcentages des conifères de la forêt boréale diminuent. Il y a de nouveau transport des sédiments et implantation d'une végétation herbacée sur les rives.

INTERPRÉTATION STRATIGRAPHIQUE

LITHOSTRATIGRAPHIE DES SÉDIMENTS NON GLACIAIRES

L'examen lithostratigraphique détaillé de la coupe de Donnacona a mis en évidence une séquence d'unités non glaciaires originale, intercalée entre deux unités glaciaires. D'après l'apparence lithologique, cette séquence comprend trois unités distinctes qui ne sont pas manifestement semblables aux unités des séquences types de Saint-Pierre-les-Becquets (Gadd, 1971; Ferland et Occhietti, 1990a), des Vieilles-Forges (Occhietti, 1980) ou de Sainte-Anne-de-la-Pérade (Ferland et Occhietti, 1990b). L'étude sédimentologique seule ne permet pas d'établir des corrélations rigoureuses.

PALYNOSTRATIGRAPHIE

L'analyse fine du contenu sporopollinique a révélé plusieurs faits. En tenant compte du contenu (fig. 6), de la concentration et de la diversité polliniques (fig. 7), une séquence descriptive de zones polliniques superposées aux subdivisions lithostratigraphiques a pu être établie (fig. 9). La concentration pollinique varie avec la granulométrie. En général, les lits silteux sont beaucoup plus riches que les lits sableux. Cependant, dans la zone descriptive V-2, entre 23,30 et 25,50 m, la concentration pollinique des lits sableux

MILIEUX DE SÉDIMENTATION	STRATIGRAPHIE		PALÉOENVIRONNEMENTS VÉGÉTAUX		PALÉOENVIRONNEMENTS CLIMATIQUES		CORRÉLATIONS	PALYNOZONES DONNACONA
Glacier	VIII	Zones descriptives	Dépôts		-	Glace Froid	Till de Gentilly	
Lac profond de marge glaciaire	Unité VII	VII - 2	Sable argileux	REMANIEMENTS ?	Toundra ?	Très froid	Silt massif (turbidites de Parisville ?)	D 4
		VII - 1	Silt massif			Toundra forestière à <i>Pinus</i> et apports lointains		
Delta lacustre avec remaniement fluvial	Unité VI	VI - 2	Silts et sables oxydés	TOUNDRA	Toundra arbustive	Froid ?	Sables des Vieilles-Forges	D 3
		VI - 1	Sables grossiers		Remaniements floristiques	Détérioration climatique		
Marge d'un lac, au débouché d'une rivière	Unité V	V - 3	Silt et sable stratifiés à débris végétaux	FORÊT BOREALE Sapinières métriques	Augmentation des herbacées	Phase plus humide	Rythmites du Saint-Maurice	D 2
		V - 2b			Pessières dominantes	Phase plus sèche		
		V - 2a			Bétulaies	Phase plus fraîche		
		V - 1b			Sapinières dominantes	Phase tempérée humide		
		V - 1a			Pessières et sapinières	Amélioration		
						Phase fraîche	Sédiments de Saint-Pierre	D 1

FIGURE 9. Paléoenvironnements végétaux et climatiques des unités V, VI et VII de Donnacona.

Plant and climatic paleoenvironments of Units V, VI and VII at Donnacona.

démontre le caractère saisonnier de la sédimentation. La zonation pollinique établie selon la méthode informatisée de Goeury (fig. 8) renforce la distinction des palynozones homogènes reconnues sur le diagramme pollinique (fig. 6). Enfin, l'ensemble de ces données palynologiques met en évidence que les limites des palynozones coïncident souvent, mais pas toujours, avec les limites lithologiques. Ainsi, le contenu pollinique de la zone V-1a est nettement distinct du contenu du reste de la zone V, alors que le passage sédimentaire est progressif. De façon encore plus démonstrative, la limite des zones polliniques descriptives VI-1 et VI-2 est située dans l'unité sableuse VI, sans variation lithologique apparente. Pour cette raison, une palynostratigraphie de la coupe de Donnacona doit être définie indépendamment de la lithostratigraphie. Le diagramme pollinique complet des unités non glaciaires peut être divisé en quatre palynozones présentant des assemblages bien distincts et correspondant à des changements majeurs dans la végétation.

La palynozone Donnacona 1: entre 18 et 19 m

Cette palynozone correspond à la zone V-1a. La sédimentation s'effectue en milieu fluvial, au-dessus d'une lacune d'érosion. La faible concentration indique un transport notable du matériel sporopollinique. La végétation régionale est une sapinière (*Abies balsamea*) à épinette noire (*Picea mariana*). Le climat est plus froid qu'actuellement.

La palynozone Donnacona 2: de 19 à 31,50 m

Cette palynozone réunit les assemblages des zones V-1b à V-3. Alors que le passage sédimentaire est progressif entre la zone V-1a et la zone V-1b, des changements majeurs sont observés dans la végétation. À la base, de 19 à 25,50 m, le sapin baumier devient dominant et correspond à un épisode climatique plus humide et plus doux. Les arbres thermophiles sont également mieux représentés. Des rythmites saisonnières sont déposées. Au-dessus, de 25,50 à 31,50 m, le contenu sporopollinique varie progressivement. Le démantèlement des rives est plus important et la pessièrre redevient dominante dans un milieu où l'humidité relative est moins importante. Les précipitations y sont sans doute moins élevées. Les paysages deviennent progressivement plus ouverts, les proportions d'herbacées ayant tendance à augmenter.

La palynozone Donnacona 3: de 31,50 à 34,60 m

Cette palynozone correspond à l'assemblage de la zone VI-1. Elle est représentée par des sables grossiers. Son contenu sporopollinique très pauvre ne traduit pas bien l'environnement végétal régional. La caractéristique essentielle semble en être le transport, le remaniement d'unités antérieures et la mauvaise conservation des grains de pollen. L'augmentation des pourcentages de *Betula*, la forte

concentration de *Sphagnum* et l'augmentation des herbacées seraient ainsi les indicateurs d'une détérioration climatique et d'une ouverture des paysages végétaux. Le climat paraît favorable à l'établissement de la toundra forestière et au transport des grains de pollen lointains soit par voie aquatique (pollen d'arbres thermophiles), soit par voie aérienne (pollen de *Pinus* qui est alors dominant sur *Picea*).

La palynozone Donnacona 4: de 34,60 à 41 m

Cette palynozone réunit les assemblages sporopolliniques VI-2, VII-1 et VII-2. La sédimentation correspond alors à un milieu plus profond et plus calme, vraisemblablement un lac glaciaire, dans lequel les pourcentages de Graminées et de plantes herbacées augmentent. Les éléments de la forêt boréale reprennent momentanément de l'importance mais, immédiatement sous le till, le paysage redevient ouvert, les proportions de grains de pollen d'herbacées augmentent et la toundra s'établit.

CORRÉLATION DES UNITÉS DE DONNACONA AVEC LES UNITÉS CLASSIQUES DE LA VALLÉE DU SAINT-LAURENT

Le fait de prendre en considération à la fois les palyno-zones et les unités lithostratigraphiques renforce la définition des unités de Donnacona et la validité des corrélations de celles-ci avec les unités classiques de la vallée du Saint-Laurent (fig. 10).

D'après les études antérieures, la coupe de Donnacona semblait devoir apporter un complément d'information sur les paléoenvironnements associés aux Sédiments de Saint-Pierre et l'analyse pollinique détaillée de cette coupe avait été entreprise dans cet esprit. Or, il s'est révélé que l'unité «Sédiments de Saint-Pierre» est peu représentée dans cette coupe, si ce n'est par son faciès sommital. En effet, à la base de la séquence stratifiée, la palynozone Donnacona 1, définie dans la zone V-1a, représente un assemblage pollinique comparable à celui du sommet des Sédiments de Saint-Pierre, c'est-à-dire à la lithozone Z6 telle que définie par Clet et Occhietti (1988).

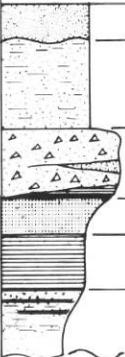
À la base de la palynozone Donnacona 2, on constate que *Pinus* devient l'espèce dominante sur *Picea* et que les proportions d'*Abies*, d'*Alnus rugosa*, de *Betula* et des arbres thermophiles augmentent. On retrouve systématiquement ces différents caractères à la base des rythmites sus-jacentes aux Sédiments de Saint-Pierre (Clet et Occhietti, 1988) appelées Rythmites du Saint-Maurice (Besré et Occhietti, 1990). L'ensemble des silts contenant la palynozone D2 (zones descriptives V-1b à V-3) serait alors comparable aux Rythmites du Saint-Maurice et se serait déposé dans un plan d'eau peu ou modérément profond, à la marge d'un cours d'eau. La lithozone contenant la palynozone Donnacona 2 est plus sableuse que les rythmites observées aux sites des Vieilles-Forges ou de Saint-Pierre-les-Becquets. De plus, la rythmicité saisonnière n'est observée que dans une petite zone, entre 23,60 et 26,60 m, postérieurement à l'amélioration climatique indiquée par la pessière.

Les sables contenant la palynozone D3 et la base de la palynozone D4 semblent comparables aux Sables des Vieilles-Forges qui représentent une sédimentation prodeltaïque et d'épandage sableux dans un lac, en contexte de détérioration climatique.

Les silts de la partie supérieure de la palynozone D4 représentent une unité préliminaire au Till de Gentilly, mise en place vraisemblablement dans un lac glaciaire avant l'arrivée des glaces allochtones de l'Inlandsis laurentidien. Elle contient les témoins d'une forêt coniférienne ou d'une toundra forestière, puis d'une toundra. Ces silts sont dans la même position stratigraphique que les turbidites de Parisville (Bernier et Occhietti, 1990), c'est-à-dire directement sous le Till de Gentilly (fig. 9). Toutefois, en raison de la complexité des faciès d'englaciation dans la vallée du Saint-Laurent, nous estimons que cette corrélation éventuelle n'est pas démontrée.

CONCLUSION

Le site de Donnacona représente un jalon stratigraphique important entre la vallée centrale et l'estuaire moyen du Saint-

LITHOSTRATIGRAPHIE VALLÉE DU SAINT - LAURENT		TENDANCES CLIMATIQUES	UNITÉS LITHOLOGIQUES DE DONNACONA	PALYNOZONES DE DONNACONA	CHRONOLOGIE	HYPOTHÈSES DE CORRÉLATION (stades isotopiques)
	dépôts fluviatiles	+			Holocène	1
	dépôts de la Mer de Champlain	+	Argile marine		12 000 - 9 500 BP	
	Till de Gentilly (1)	—	Till de Gentilly (VIII)			3 - 2 ou 4 - 3 - 2
	turbidites de Parisville (4)	—	Silt massif (VII)	Donnacona 4		5 / 4 ou partie de 3
	Sables des Vieilles - Forges (3)	—	Sables stratifiés (VI)	Donnacona 3		
	Rythmites du Saint - Maurice (2)	+	Silt et sable à débris végétaux (V)	Donnacona 2		5a ou début de 3
	Sédiments de Saint - Pierre (1)	+		Donnacona 1	75 000 BP (6) > 35 000 BP 60 ka TL (5)	

+ Réchauffement - Refroidissement

FIGURE 10. Corrélation et chronologie des unités de Donnacona (1: Gadd, 1972; 2: Besré et Occhietti, 1990; 3: Occhietti, 1980; 4: Bernier et Occhietti, 1990; 5: Lamothe, 1984; 6: Stuiver et al., 1978).

Correlation and chronology of the Donnacona units (1: Gadd, 1972; 2: Besré and Occhietti, 1990; 3: Occhietti, 1980; 4: Bernier and Occhietti, 1990; 5: Lamothe, 1984; 6: Stuiver et al., 1978).

Laurent. Un complexe glaciaire inférieur comprend un till de fond basal, des dépôts de marge glaciaire, un diamicton et quelques varves, un deuxième till et une rudite. Une séquence intermédiaire, stratifiée et non glaciaire, est composée de trois unités apparentes: des silts et sables riches en débris végétaux et datés à >35 000 BP (UQ-678) (unité V) jusqu'à présent attribués aux Sédiments de Saint-Pierre, des sables (unité VI) et du silt massif et déformé (unité VII). Le till supérieur, associé au Till de Gentilly, est coiffé par des argiles de la Mer de Champlain.

L'interprétation paléoenvironnementale du contenu sporopollinique et la biostratigraphie de la séquence intermédiaire ont été établies en tenant compte de la nature du sédiment échantillonné, de la concentration sporopollinique, de la diversité taxonomique et en utilisant la méthode statistique informatisée de Goeury. Ce développement de l'analyse palynologique a révélé plusieurs faits nouveaux, en particulier une lithozone de rythmites annuelles dans l'unité à débris organiques. Le diagramme pollinique de l'ensemble de la séquence indique une végétation représentative d'un climat plus frais à plus froid qu'aujourd'hui. Le diagramme peut être subdivisé en quatre biozones distinctes, appelées palynozones Donnacona 1, 2, 3 et 4.

L'association de la biostratigraphie à la lithostratigraphie permet de comparer les unités de Donnacona aux unités classiques de la vallée du Saint-Laurent. Les silts et sables stratifiés à matière organique de Donnacona (unité V) représentent, en fait, à la fois le sommet des Sédiments de Saint-Pierre (lithozone de 1 m d'épaisseur et palynozone Donnacona 1, caractérisée par *Picea* et *Abies*) et les Rythmites du Saint-Maurice (reste de la lithozone, incluant des rythmites annuelles, et palynozone Donnacona 2, caractérisée à la base par *Abies* dominant, puis par des assemblages de forêt boréale à *Picea*). L'unité sableuse VI de Donnacona est corrélée aux Sables des Vieilles-Forges. Le contenu sporopollinique varie de très pauvre (palynozone Donnacona 3) à moyen (partie inférieure de la palynozone Donnacona IV) et peut indiquer une forte détérioration du climat. L'unité VII de silt massif représente une nouvelle unité de rang non déterminé, d'origine glaciolacustre probable. Le contenu pollinique (partie supérieure de la palynozone Donnacona 4) est abondant puis décroît. Il indique une légère amélioration climatique, représentée apparemment par une toundra forestière, suivie d'un refroidissement indiqué par une végétation de toundra qui précède l'invasion de l'Inlandis laurentidien.

La palynologie du site de Donnacona confirme l'existence d'une phase à *Abies*, déjà identifiée à la base des Rythmites du Saint-Maurice aux Vieilles-Forges et donc postérieure aux Sédiments de Saint-Pierre. Cette biozone représente un bon repère stratigraphique dans la vallée du Saint-Laurent et indique un épisode climatique plus humide et légèrement plus frais qu'actuellement.

Cette étude montre que la palynologie est indispensable à la caractérisation des dépôts non glaciaires du Pléistocène de la vallée du Saint-Laurent, que c'est une condition préalable aux corrélations et qu'il est possible d'étayer les interpré-

tions paléoécologiques et biostratigraphiques sur des bases numériques.

REMERCIEMENTS

Nous remercions vivement les personnes qui ont contribué à la réalisation de ce travail. MM. F. Bernier, F. Besré et P. Ferland nous ont aidés sur le terrain; M^{mes} T. Faucher et S. Guermont ont préparé les échantillons au Centre de géomorphologie du CNRS à Caen, M^{me} N. Morasse a préparé et analysé les échantillons de la partie supérieure de la coupe au Laboratoire de paléobiogéographie et de palynologie de l'Université de Montréal et, enfin, M^{me} L. Manté a contribué à l'adaptation du logiciel G3PAL au Centre de géomorphologie. Nous exprimons également toute notre gratitude à M. C. Goeury, du Laboratoire de botanique historique et de palynologie de l'Université de Marseille, qui a toujours répondu très vite et avec beaucoup de sympathie à nos nombreuses sollicitations concernant l'utilisation du logiciel, et à M. A. Larouche qui l'a implanté au Département de géographie de l'Université de Montréal. Les levés de terrain ont été réalisés grâce à une subvention du Programme de formation de chercheurs et d'aide à la recherche du ministère de l'Éducation du Québec (équipe de C. Hillaire-Marcel). Nous sommes reconnaissants à M^{me} Marie-Anne Geurts et à M. Robert J. Mott pour leurs précieuses suggestions à titre d'évaluateurs du manuscrit.

RÉFÉRENCES

- Beaulieu, J. L. de et Goeury, C., 1987. Zonation automatique appliquée à l'analyse pollinique: exemple de la Narse d'Ampoix (Puy de Dôme), France. Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire, 1: 49-61.
- Bernard, J. et Pons, A., 1985. Contribution à la connaissance de la dispersion pollinique en mer: une étude au large du delta du Rhône. Sciences géologiques, 38 (1): 91-98.
- Bernier F. et Occhietti S., 1990. Le complexe glaciaire du Cap Charles, vallée moyenne du Saint-Laurent, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 44 (2): 173-180.
- Besré F. et Occhietti S., 1990. Les Varves de Deschaillons, les Rythmites du Saint-Maurice et les rythmites de Leclercville, Pléistocène supérieur, vallée du Saint-Laurent, Québec. Géographie physique et Quaternaire, 44 (2): 181-198.
- Clet, M., 1987. Palynology of sediments attributed to the St-Pierre Interval. p. 42-51. In M. Lamothe, éd., Pleistocene stratigraphy in the St. Lawrence Lowland and the Appalachians of Southern Quebec: a field guide. Université de Montréal. Collection Environnement et Géologie, n° 4.
- Clet, M. et Occhietti, S., 1988. Palynologie des sédiments attribués à l'intervalle non glaciaire de Saint-Pierre (Québec, Canada). Étude préliminaire. Actes du X^e Symposium de l'Association des palynologues de langue française. Institut français de Pondichéry, Traux de la Section des Sciences et Techniques, XXV: 185-196.
- Coleman, A. P., 1941. The Last Million Years. University of Toronto Press, 216 p.
- Faegri, K. et Iversen, J., 1975. Textbook of pollen analysis. 3e édition, Blackwell Scientific Publications, Oxford et Hafner Press, New York, 295 p.

- Ferland P. et Occhietti S., 1990a. Révision du stratotype des Sédiments de Saint-Pierre et implications stratigraphiques, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 (2): 147-158.
- 1990b. L'Argile de la Pérade: nouvelle unité marine antérieure au Wisconsinien supérieur, vallée du Saint-Laurent, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 44 (2): 159-172.
- Gadd, N. R., 1971. Pleistocene geology of the Central St. Lawrence Lowland, with selected passages from an unpublished manuscript: The St. Lawrence Lowland, by J. W. Goldthwait. *Geological Survey of Canada, Memoir 359*, 153 p.
- Goeury, C., 1988. Acquisition, gestion et représentation des données de l'analyse pollinique sur micro-ordinateur. Institut français de Pondichéry, *Travaux de la Section des Sciences et Techniques*, 25: 405-416.
- Goeury, C. et Beaulieu, J. L. de, 1979. À propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et Spores*, 21 (1-2): 239-252.
- Jetté, H. et Mott, R. J., 1989. Palynostratigraphie du Tardiglaciaire et de l'Holocène de la région du lac Chance Harbour, Nouvelle-Écosse. *Géographie physique et Quaternaire*, 43 (1): 27-38.
- Jørgensen, S., 1967. A method of absolute pollen counting. *New Phytologist*, 66: 489-493.
- Karrow, P. F., 1957. Pleistocene geology of the Grondines map-area, Quebec. Thèse de Ph.D., University of Illinois, Urbana, 97 p.
- Lamothe, M., 1984. Apparent thermoluminescence ages of St. Pierre Sediments at Pierreville, Quebec, and the problem of anomalous fading. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 21: 1406-1409.
- Mott, R. J. et DiLabio, R. N. W., 1990. The Sangamonian Interglaciation in northern Ontario. *Géographie physique et Quaternaire*, 44,3: 309-318.
- Occhietti, S., 1980. Le Quaternaire de la région de Trois-Rivières Shawinigan, Québec. Contribution à la paléogéographie de la vallée moyenne du Saint-Laurent et corrélations stratigraphiques. Université du Québec à Trois-Rivières, *Paléo-Québec*, vol. 10, 227 p.
- 1989. Géologie quaternaire de la sous-région de la vallée du Saint-Laurent et des Appalaches. p. 374-417. In R. J. Fulton, éd., *Le Quaternaire du Canada et du Groenland*. Commission géologique du Canada. *Géologie du Canada*, vol. 1.
- Occhietti, S., Clet, M., Bernier, F., Besré, F., Ferland, P. et Lancery, J.-M., 1989. Contribution à la lithostratigraphie de la vallée du Saint-Laurent: Saint-Pierre-les-Becquets, Sainte-Anne-de-la-Pérade et Donnacona, p. 35-53. In M. Lamothe, éd., *Stratigraphie du Pléistocène du Québec méridional*, Livret-Guide d'excursion A 1, Réunion annuelle de l'Association des géologues du Canada, 118 p.
- Richard, P. J. H., 1968. Un spectre pollinique type de la sapinière à bouleau blanc pour la Forêt Montmorency. *Le Naturaliste canadien*, 95: 565-576.
- 1976. Relations entre la végétation actuelle et le spectre pollinique au Québec. *Naturaliste canadien*, 103: 53-66.
- 1977. Histoire post-wisconsinienne de la végétation du Québec méridional par l'analyse pollinique. Service de la recherche, Direction générale des forêts, Ministère des Terres et Forêts du Québec. *Publications et rapports divers*, tome 1, xxiv + 312 p.; tome 2, 142 p.
- Ritchie, J. C., 1987. *Postglacial vegetation of Canada*. Cambridge University Press, 178 p.
- Stuiver, M., Heusser, C. J. et Yang, I. C., 1978. North American glacial history extended to 75 000 years ago. *Science*, 200: 16-21.
- Terasmae, J., 1958. Contributions to Canadian Palynology, part 2; non-glacial deposits in the St-Lawrence Lowlands, Québec. *Geological Survey of Canada, Bulletin no 46*: 13-28.