

## MODELE D'INTERPRETATION PALYNOLOGIQUE EN FONCTION DES MASSES D'AIR ET DES SPECTRES POLLINIQUES CONTEMPORAINS EN MILIEU NORDIQUE (◊)

par M.-A. GEURTS (\*), D. LAGAREC (\*) et F. GUAY (\*).

### INTRODUCTION.

Les recherches palynologiques sur paléoclimatique tardiglaciaire et holocène se révèlent rentables dans les régions nordiques car ces zones portent des écotones, c'est-à-dire des végétations de transition depuis la forêt boréale jusqu'aux toundras les plus clairsemées. Or ces écotones sont généralement très sensibles aux fluctuations climatiques comme l'on en a encore, tout récemment démontré RITCHIE et coll. (1983).

Cependant, l'interprétation des spectres polliniques de ces zones restent complexe notamment en raison des pollinations réduites des espèces locales. Les palynologues s'accordent pour considérer que les toundras forestières et arbustives ne sont guère différenciables par leurs spectres polliniques en particulier si ceux-ci sont présentés de façon classique, sur base des pourcentages des divers taxons. C'est pourquoi l'interprétation paléoclimatique des sédiments anciens est de plus en plus fondée sur l'analyse de l'influx pollinique c.à.d. le nombre de pollens sédimentés par cm<sup>2</sup>, par an.

Toutefois, le calcul de l'influx pollinique ancien ne tient pas compte des variations de compaction des sédiments qui peuvent fausser partiellement les résultats. Dans l'attente de résoudre ce point délicat, cette étude se propose donc d'établir un modèle d'interprétation des spectres polliniques en fréquences relatives, de sédiments fossiles. Ce modèle est basé sur l'étude de l'aéropalynologie et

de la palynologie de surface, dans les Territoires du Nord-Ouest et au sud-ouest du Territoire du Yukon, au Canada.

### FAITS OBSERVES.

- 1) En 1967, RITCHIE et LITCHI-FEDEROVICH publient les fréquences polliniques des taxons recueillis dans la pluie pollinique de 20 stations météorologiques réparties dans les grands biomes du nord du Canada. Le tableau n°1 donne les moyennes des pourcentages polliniques des principaux taxons, calculées sur les données de ces auteurs, ainsi que le nombre de pollens recueillis par cm<sup>2</sup> et par an dans les divers biomes. L'analyse de ce tableau révèle :
  - a) que le nombre de pollens recueillis dans la pluie pollinique est croissant depuis le désert périglaciaire jusqu'à la forêt boréale, mais qu'une très grande variabilité apparaît dans les sommes polliniques au sein des biomes. Cette variabilité est présente également dans les fréquences relatives des taxons si on examine les données complètes de ces auteurs.
  - b) que la pluie pollinique du désert périglaciaire est entièrement dominée par les pollens d'origine exotique.
  - c) que les stations du désert périglaciaire et des toundras herbacées et arbustives ont obtenus des fréquences relatives du pollen de *Pinus* plus élevées que celles du pollen de *Picea* alors que l'épinette (*Picea*) atteint des latitudes plus nordiques que le pin. Ceci semble indiquer que le pollen de *Pinus* est mieux dispersé et

(◊) Cette recherche a été financée par le Conseil national de Recherches en Science naturelles et en Génie du Canada : subvention A6888.

(\*) Département de Géographie, Université d'Ottawa, 165 Waller, Ottawa, Ontario, Canada K1N 6N5

	Désert périglaciaire	T. herbacée	T. arbustive	T. forestière	forêt
Nombre de stations	1	2	3	8	6
<i>Picea</i>	3	2,4	1,4	12,8	12,2
<i>Pinus</i>	11	14,8	3,5	9,5	20,4
<i>Betula</i>	42	13,8	17,9	27,8	19,8
<i>Alnus</i>	4	5,3	2,2	10,6	13,7
Cypéracées	8	30,7	20,2	8	1,8
Nombre de pollens par cm <sup>2</sup> par an	5	22 à 55	52 à 762	275 à 2.372	2.684 à 11.570

TABLEAU 1.- Fréquences polliniques moyennes obtenues dans la pluie pollinique du Nord du Canada. Données extraites de RITCHIE et LITCHI-FEDEROVICH (1967). Note : T = toundra.

transporté que le pollen de *Picea*.

Ces résultats ont été confirmés depuis notamment par ELLIOTT-FISK et coll. (1982) dans l'Est de l'Arctique canadien. BARRY et coll. (1981) ont constaté cependant sur l'île de Baffin que des influx anciens de pollens exotiques sont de loin supérieures à ce qui peut être admissible sur base unique des durées de pollination dans la forêt boréale.

- 2) L'étude des spectres polliniques d'échantillons de mousses récoltés dans la vallée de la Coppermine confirme également que les fréquences relatives de *Pinus* sont généralement supérieures à celles de *Picea* dans les sites de toundra à chaméphytes et dans les pelouses à *Dryas*, en particulier au-delà de la limite des arbres (GEURTS, 1983). Des plus des spectres polliniques-types ont été définis en fonction des surfaces topographiques. Ainsi, les spectres dominés par *Salix* n'ont été trouvés que sur des surfaces topographiques isolées. Les spectres dominés par *Picea* correspondent aux versants forestiers au sud de la limite des arbres; les spectres à dominance absolue de *Betula* sont obtenus sur des surfaces planes et exposées aux vents et souvent sur des dépôts deltaïques ou fluvioglaciaires; et les spectres composés essentiellement des pollens de *Betula* et d'Ericales caractérisent des zones affectuées de coulées de solifluxion.

Dans les zones de krummholz on constate une réduction des fréquences polliniques de *Picea* (GEURTS, 1983) mais aussi une perte de leur pouvoir fécondant (ELLIOTT, 1979). Ainsi, dès qu'on s'éloigne des sites forestiers au sein de la vallée de la Coppermine (Territoire du Nord-Ouest), les fréquences de *Picea* chutent rapidement et les spectres sont dominés par les taxons arbustifs ou herbacés. Ceci indique une fois de plus que le transport des pollens de *Picea* est beaucoup plus réduit que celui de *Pinus*, puisque *Pinus* n'existe pas dans la toundra forestière de cette vallée. Le pollen de *Pinus* est donc exotique pour cette région et est transporté vers le nord par les masses d'air provenant du secteur sud où la limite nord de *Pinus* contourne par le sud le Grand Lac de l'Ours.

- 3) L'étude de la pluie pollinique des étés 1981 et 1982 dans la vallée du Gladstone Creek de la chaîne Ruby dans le sud-ouest de Yukon montre également des apports du pollen de *Pinus* atteignant jusqu'à 8% alors que l'arbre est absent de la région immédiate (LAGAREC et GEURTS, manuscrit). Les périodes de sédimentation du pollen de *Pinus* correspondent à des épisodes de circulation méridienne résultant d'un blocage dans le Golfe de l'Alaska. Il y a alors un drainage vers la région, d'air en provenance du secteur sud à sud-est amenant des pollens de régions où le pin est abondant comme en Colombie-Britannique et au sud du 60<sup>e</sup> parallèle en Alaska. Ce type de situation constitue une transition marquant la remontée du front arctique jusqu'à sa position estivale près du littoral de l'océan arctique.

Les conditions synoptiques et la position des fronts semblent donc un élément déterminant de la sédimentation des pollens extra-régionaux, fait particulièrement important pour l'interprétation palynologique des zones nordiques où ces pollens constituent une part importante des spectres polliniques.

- 4) Enfin, selon BRYSSON (1966), la position moyenne du front arctique en juillet correspond à la limite nord de la forêt boréale sur les plateaux dans les Territoires du Nord-Ouest et la distribution des masses d'air en été pourrait donc être un facteur causal de la répartition des biomes (Figure 1). On en déduit donc que le déplacement vers le nord de la position du front arctique estival pendant des périodes suffisamment longues a engendré l'extension de la forêt ou du moins de la limite des arbres durant l'Holocène. Cette hypothèse est confirmée par la découverte de macrorestes d'épinette jusqu'au golfe du Couronnement (NICHOLS, 1975).

L'étude de KAY (1978) basée sur la croissance des arbres appuie aussi l'hypothèse du contrôle de la limite forestière par le front arctique. Il montre aussi que les variations climatiques régionales affectent de manière plus significative la croissance des arbres à la limite de la forêt que celle des arbres des avant-postes (tels

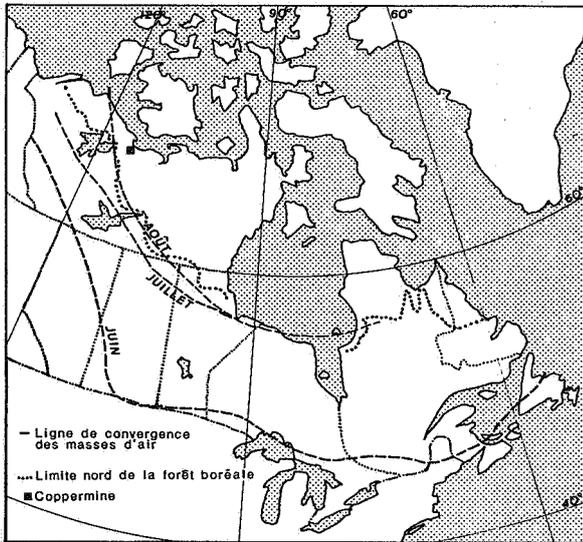


Fig. 1 - Position des lignes de convergence des masses d'air pendant l'été selon BRYSSON, R. A. (1966). Ces lignes montrent l'extension de l'influence de l'air arctique pour les différents mois.

ceux de la vallée de la Coppermine) qui sont cantonnés à des sites favorables.

#### VARIATIONS CLIMATIQUES - REPNSES PALYNOLOGIQUES.

Malgré les preuves de l'extension forestière on ne doit pas négliger une certaine inertie de la forêt à répondre aux fluctuations climatiques, dues à sa propre dynamique ou à des contraintes topographiques. En effet, quand au postglaciaire le front arctique a migré vers le nord, il a fallu attendre d'une part que des surfaces topographiques soit déglacées et émergées des eaux marines, lacustres ou fluviales pour que la végétation pionnière puisse s'y installer. D'autre part les arbres n'ont pu coloniser ces zones que lorsque des versants sont apparus suite à l'encaissement des rivières, donnant ainsi des surfaces en pente où le rayonnement solaire incident est supérieur, et offrant aussi des sites mieux protégés des vents. Quand, au contraire, la région a été à nouveau sous l'influence des masses d'air arctique la forêt s'est détériorée, mais non résorbée rapidement. Elle s'est maintenue dans un état éclairci voir même sous forme de krummholz et l'épinette a réduit sa production pollinique. Ce concept de réduction de production pollinique est conforme aux analyses de surface réalisées dans la vallée de la Coppermine en particulier près des krummholz (GEURTS, 1983). Il est coroboré par la découverte de macrorestes d'épinette dans des sédiments quasiment dépourvus des pollens de *Picea* (NICHOLS, 1975).

Plusieurs diagrammes polliniques inédits de sites de chenaux et de terrasses fluviales de la vallée de la Coppermine permettent d'envisager le modèle suivant :

1) Si la position estivale du front arctique est très au nord, au moins jusqu'au golfe du Couronnement, et cela depuis

plusieurs siècles, ce qui a donné le temps à la forêt de migrer jusque dans cette zone, les spectres polliniques des sédiments anciens sont alors caractérisés par des fréquences relatives élevées des pollens de *Picea* (Figure 2A) (+ 40% près de la limite nord des arbres et + 60% à 80 km au sud de cette limite).

2) Si la position estivale du front arctique est en migration vers le sud, le passage durant quelques siècles de cette position frontale sur une zone se traduit par une réduction des fréquences relatives des pollens de *Picea*, due à une diminution de sa production en raison de l'installation des masses d'air froid sur la zone envisagée. Par contre on constate une augmentation des fréquences des arbustes et des herbes mais aussi de *Pinus* (Figure 2B). L'accroissement des fréquences relatives du pollen de *Pinus* peut s'expliquer par une augmentation de sa surreprésentation en raison d'une production déficitaire de *Picea*, ou par une augmentation de son influx, ce qui exige l'intensification d'une circulation atmosphérique adéquate à son transport vers le nord.

3) Si la position estivale du front arctique est très basse en latitude comme actuellement (Figure 2C), la région d'écotone voit les versants forestiers avec des spectres polliniques encore dominés par *Picea* tandis que les surfaces subhorizontales et très exposées sont dominées par les pollens d'arbustes et d'herbes. Dans la forêt boréale les fréquences relatives de *Picea* sont relativement faibles en raison de la concurrence d'autres taxons très producteurs, *Pinus* et *Betula papyrifera*.

Ce modèle rejoint celui proposé par KAY (1978) en ce qui concerne la croissance des arbres (en particulier le point 2 du modèle). De plus le modèle suggère que parmi les arbres qui constituent la forêt boréale, seul *Picea*, a atteint la côte du golfe du Couronnement.

#### COMPATIBILITE DU MODELE EN FONCTION DES DONNEES SYNOPTIQUES DU 20<sup>e</sup> SIECLE.

Le modèle proposé sur la base des données palynologiques et les changements de circulation qui y sont associés correspond à des situations modernes, observées depuis le début du siècle.

La 1<sup>ère</sup> situation découlant d'une extension plus nordique maximale vérifiée de la forêt est caractéristique d'une dominance de flux zonaux similaire au patron qui a dominé jusque dans les années 1950 (KALNICKY, 1974). Le front arctique est alors localisé à la marge du continent, et par suite du contraste thermique plus vigoureux, il s'accompagne d'une augmentation marquée des températures dans les régions immédiatement au sud du front.

Dans la situation actuelle, l'abaissement du front sur le continent provoque son affaiblissement et cela se traduit par une circulation de type méridien provoquant un refroidissement dans les régions subarctiques en raison des fréquentes

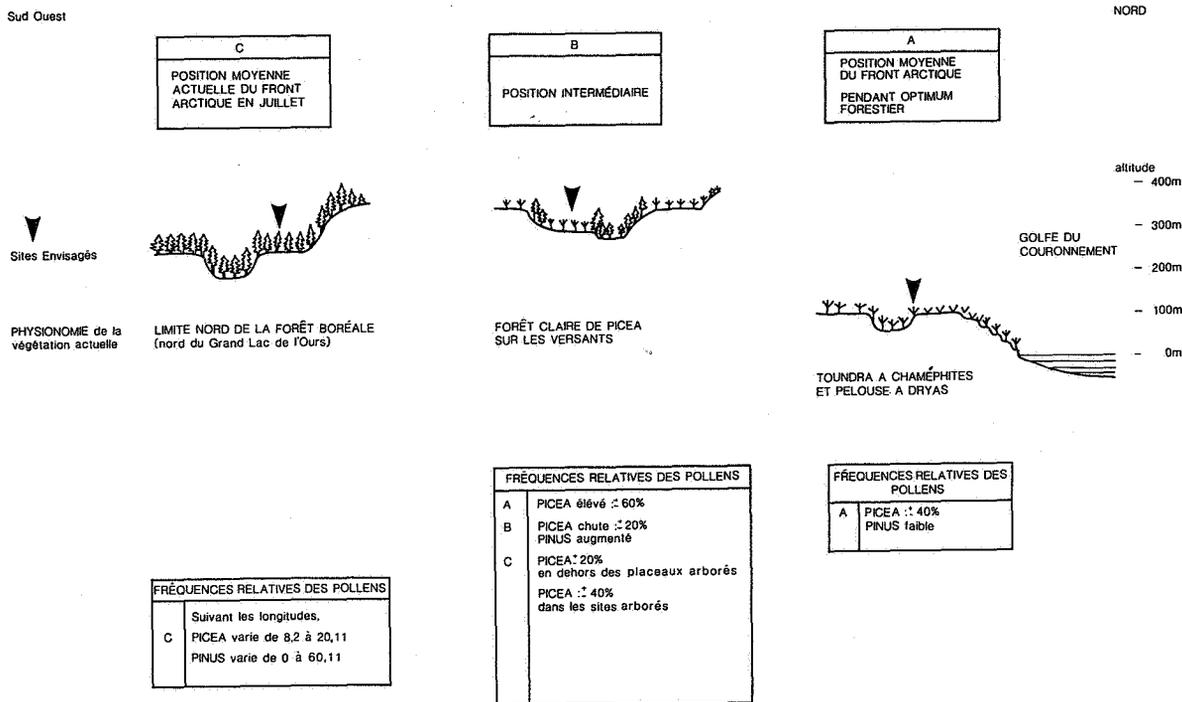


Fig. 2 - Modèle de réponses palynologiques aux fluctuations des zones d'influences des masses d'air.

incursions d'air arctique. C'est la situation qui a prévalu, dans les années 60. Selon NAMIAS (1969), ce changement de patron, qui s'est traduit par un abaissement de l'altitude de l'isotherme 0°C en juillet, suite au déplacement de la basse pression à 700 mb centrée jusque là au SE de Baffin vers Ellesmere (BRADLEY, 1973), est le résultat de températures anormalement chaudes dans le nord du Pacifique.

La position intermédiaire correspond à la transition d'un régime à l'autre. Les caractéristiques invoquées (diminution des fréquences de *Picea*, augmentation de *Pinus*) semblent plus correspondre à l'instauration d'une circulation de type méridien qui se mettrait en place graduellement comme le suggère les travaux de KALNICKY (1974). Ce changement qui intensifie l'incursion des masses d'air froid et sec défavorable à *Picea* dans l'écotone, n'oblitére pas la production de *Pinus* au sud, et peut même augmenter son transport du sud au nord.

#### CONCLUSION.

L'analyse des fréquences relatives des pollens extra-régionaux expliquée en terme de changement de la circulation atmosphérique générale et de fluctuations des zones d'influence des masses d'air, permet :

- 1) de préciser les fluctuations climatiques mineures de l'Holocène sans faire appel nécessairement à des modifications rapides des limites forestières incompatibles avec l'inertie de la forêt.
- 2) de suggérer que les interstades interrompant la dernière glaciation n'ont pas nécessairement vu de changements climatiques permettant l'extension de

forêts composées seulement d'une ou deux essences plus ou moins thermophiles mais plutôt l'instauration de régimes favorisant l'apport plus massif de pollen extra-régionaux.

- 3) d'envisager l'interprétation paléoclimatique des données palynostratigraphiques sur une base plus globale et plus dynamique.

#### BIBLIOGRAPHIE.

- BARRY, R.G., ELLIOTT, D.L. and R.G. CRANE (1981) - The paleoclimatic interpretation of exotic pollen peaks in Holocene records from the eastern Canadian Arctic : a discussion. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 33, p. 153-167.
- BRADLEY, R. S. (1973) - Recent Freezing Level Changes and Climatic Deterioration in the Canadian Arctic Archipelago. *Nature*, 243, p. 398-400.
- BRYSSON, R. A. (1966) - Air masses, streamlines, and the boreal forest. *Geographical Bulletin*, 8, 3, p. 228-269.
- ELLIOTT, D. L. (1979) - The current regenerative capacity of the Canadian trees, Keewatin, Northwest Territory, Canada; some preliminary observation. *Arctic and Alpine Research*, 11, 2, p. 243-252.
- ELLIOTT-FISK, D.L., ANDREWS, J.T., SHORT, S.K. and W.N. MODE (1982) - Isopoll maps and analysis of the distribution of the modern pollen rain, eastern and central northern Canada. *Geographie physique et Quaternaire*, 34, 1-2, p. 91-108.
- GEURTS, M.-A. (1983) - Relations entre spectres polliniques contemporains et topographie dans la vallée de la Coppermine, Territoires du Nord-Ouest. *Journal canadien de botanique*, 61, 2, p. 586-593.

- KALNICKY, R. A. (1974) - Climatic change since 1950. *Annals of the Association of American Geographers*, 64, 1, p. 100-112.
- KAY, P. A. (1978) - Dendroecology in Canada's Forest-tundra transmission zone. *Arctic and Alpine Research*, 10, 1, p. 133-138.
- LAGAREC, D. et M. A. GEURTS - Les caractéristiques climatiques de la pluie pollinique dans la vallée de Gladstone Creek, Chaîne Ruby, Territoire du Yukon. *Manuscrit*.
- NAMIAS, J. (1969) - Seasonal interactions between the North Pacific and the atmosphere during the 1960's. *Monthly Weather Review*, 97, 3, p. 173-192.
- NICHOLS, H. (1975) - Palynological and Paleoclimatic study of the late quaternary displacement of the boreal forest-tundra ecotone in Keewatin and Mackenzie, N. W. T., Canada. *Occasional Paper nr.15. Institute of arctic and alpine research*.
- RITCHIE, J. C. and S. LICHTI-FEDOROVICH (1967) - Pollen dispersal phenomena in Arctic, Subarctic Canada. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 3, p. 255-266.
- RITCHIE, J. C., CWYNAR, L.C. and R. W. SPEAR (1983) Evidence from north-west Canada for an early Holocene Milankovitch thermal maximum. *Nature* 305, 8, p. 126-128.

# TOTAL sait le faire.



TOTAL, le "Major" français, sait utiliser les méthodes géophysiques les plus sophistiquées pour chercher et découvrir les hydrocarbures restant encore enfouis dans le sous-sol. Les géophysiciens de TOTAL savent choisir et mettre en œuvre les équipements appropriés pour résoudre les problèmes difficiles de l'Exploration. Ils ont été les premiers à enregistrer en 3 dimensions en Mer du Nord et dans le Golf de Suez. Ils savent traiter sur les ordinateurs les plus

modernes l'énorme quantité d'informations récoltées lors des campagnes sismiques, de façon à produire des documents exploitables pour l'interprétation. L'expérience mondiale de ses géophysiciens lui permet de reconnaître sur ces documents tous les pièges possibles d'accumulation d'hydrocarbures, voire de détecter parfois la présence de ceux-ci, en tout cas de déterminer avec précision le meilleur endroit pour placer les forages productifs.

**TOTAL CHERCHE ET TROUVE LES HYDROCARBURES DE DEMAIN.**

**TOTAL**

Compagnie Française des Pétroles - Direction de l'Information et des Relations Extérieures  
Département de la Documentation - 5, rue Michel-Ange - 75781 Paris CEDEX 16 - FRANCE