

Histoire de la végétation et du climat dans la région nord-andine

L'avance et le recul des glaciers haut-andins est un phénomène connu, lié aux modifications du climat. Le « petit âge glaciaire », de 1 500 à 1 850 PC, est une période d'extension des glaciers, à mettre en relation avec le refroidissement du temps qui affecte de nombreuses parties du monde. Depuis 1850, les glaciers de la région nord-andine régressent.

Les périodes glaciaires elles-mêmes, lorsque le Nord de l'Amérique et l'Europe étaient recouverts d'une immense calotte glaciaire, touchèrent également les Andes tropicales. De la dernière glaciation (de - 100 000 à - 10 000), nous connaissons les dépôts de moraines latérales et terminales du Pérou, d'Equateur, de Colombie et du Vénézuéla.

La Sierra Nevada de Cocuy et la Sabana de Bogota nous fournissent une connaissance plus détaillée de l'histoire des glaciers de la dernière glaciation, grâce à des études géomorphologiques, stratigraphiques et aux datations fournies par le carbone 14. Leurs résultats ont permis, non sans surprise, de faire remonter la plus grande extension glaciaire à plus de 25 000 ans (sans doute entre - 30 000 et - 70 000 ans) ; dans le Cocuy, les langues glaciaires descendirent au-dessous de 3 000 m et, en certains points, au-dessous de 2 500 m. Aux alentours des années - 20 000, on observe une régression assez importante des glaciers, à des altitudes de 3 500 m environ. Au Pléistocène (Tardiglacial), les glaciers s'étaient déjà retirés à 3 900-4 000 m, régression qui se poursuit au cours de l'Holocène.

Or, vu que c'est autour des années - 20 000 à - 18 000 que l'immense coupole de glace de la dernière glaciation submerge le monde, de telles données ont de quoi surprendre.

L'étude de l'histoire de la végétation et de l'environnement à partir de l'analyse du pollen, des spores, des algues, des graines, etc., contenus dans les sédiments des lagunes et des tourbières, nous fournit de nombreuses informations sur les changements climatiques. Grâce à cette étude des pollens et des spores contenus dans les sédiments, nous pouvons tracer des diagrammes

(*) Laboratoire Hugo de Vries, Amsterdam.

polliniques, montrant la variation dans le temps du pourcentage de pollen des différentes plantes ou des groupes écologiques de plantes. Ces diagrammes peuvent se traduire en histoire de la végétation et, par la suite, en histoire du climat.

Pour pouvoir faire ces « traductions », il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de la flore actuelle et de son rapport avec le milieu ambiant et, de manière plus spécifique, avec le climat.

La répartition zonale de la végétation, déterminée par l'altitude et la température, est d'une importance capitale. Dans la région nord-andine, on distingue les zones suivantes (altitudes approximatives) :

- de 0 à 1 100 m : la zone tropicale,
- de 1 100 à 2 300 m : la zone subandine,
- de 2 300 à 3 500 m : la zone andine,
- de 3 500 à 5 000 m : la zone de Paramo (terres steppiques).

Le *páramo* peut être subdivisé en une zone de sous-*páramo* (avec une végétation d'arbustes abondante), une zone de *páramo* proprement dite (végétation de graminées), et une zone de super-*páramo* (où le couvert végétal est déjà raréfié).

Lorsque le climat est assez humide (ce qui est le cas de la région nord-andine), les zones tropicale, subandine et andine, sont représentées par une végétation de bois et de forêt dense. Localement, dans les vallées interandines ou dans d'autres espaces abrités des pluies, on trouve des types de végétation plus ou moins xérophile.

En cas de sécheresse assez intense, la végétation xérophile de la zone andine peut être en contact avec une flore steppique sèche (*Opuntia* poussant en même temps que l'*Espeletia*, comme on peut le voir en certains points de la vallée du *rio Chicamocha*) ; en cas d'humidité relativement forte, des formations de forêts pourraient être, localement, en contact avec des glaciers (comme en rend compte une certaine partie du Nevado del Huila). Ces deux phénomènes s'observent, respectivement, autour de 3 000 et de 4 000 m d'altitude.

I. LE SOULÈVEMENT DE LA CORDILLÈRE DES ANDES

La cordillère des Andes a une longue histoire et certains soulèvements se sont produits à des époques distinctes. Le plus important et le plus général est le soulèvement final qui semble avoir eu lieu entre le Miocène supérieur et le Pléistocène.

Dans la zone du haut plateau de Bogota (Sabana de Bogota, 2 600 m d'altitude), on rencontre des dépôts sédimentaires, appartenant à la Formation Tilata et postérieurs au plissement des Andes ; ils se sont déposés plus ou moins à l'horizontale, mais sont marqués par de petites failles. La partie basse de cette formation contient les pollens de la végétation tropicale, un peu plus haut on trouve ceux des forêts sub-andines, et ensuite ceux des forêts andines. C'est donc

au Pliocène, avant et au cours du soulèvement des Andes du Nord que la formation Tilata fut déposée dans la Cuenca de Bogota ; à la fin du soulèvement, la zone de *páramo* est également bien représentée. Au cours du soulèvement, apparaissent également, successivement, de nouveaux éléments de la flore, par exemple tout d'abord *Hedyosimun* et ensuite *Myrica*. Plus tardivement, au début du Quaternaire (il y a 2,5 millions d'années environ), apparaît pour la première fois *Alnus* (l'alisier), alors que *Quercus* (le chêne) est d'apparition plus tardive (pas avant 1 million d'années environ). Tous ces spécimens de la flore représentent des espèces qui ont émigré du Nord vers les Andes, après ou pendant la formation, il y a 4 à 5 millions d'années, de l'isthme de Panama.

Lorsque, à la fin du Pliocène et au début du Pléistocène, nous découvrons dans les diagrammes polliniques l'existence de la végétation steppique, elle est encore relativement peu diversifiée, mais des espèces vraiment typiques, comme *Polylepis* et *Aragoa*, sont déjà représentées. Disons, en conclusion, que l'on assiste au Pliocène à la formation de nouvelles zones de vie, en particulier celle de la forêt andine et celle de *páramo*, composées d'espèces en partie originaires de la flore néotropicale et en partie d'espèces venues du sud (comme *Weinmannia*) et du nord (*Myrica* et *Alnus* par exemple).

II. LES PÉRIODES GLACIAIRES ET INTERGLACIAIRES DU PLÉISTOCÈNE

Dans le bassin de la Sabana de Bogota, on trouve une épaisseur de dépôts sédimentaires du Plio-Pléistocène pouvant atteindre 900 m, dont 300 m environ correspondent au Pléistocène. Un forage, réalisé il y a quelques années au centre de la Sabana, a permis d'obtenir des noyaux continus des premiers 350 mètres. En se fondant sur la désintégration radioactive, on a pu dater de petites couches de cendre volcanique intercalées dans ces sédiments lagunaires et, de là, évaluer l'âge de toute cette séquence à 3,5 millions d'années approximativement. Les 350 m de sédiments furent analysés par Hoogliemstera, grâce à la palynologie. Depuis 2,5 millions d'années, approximativement, on constate l'existence de 15 à 20 cycles de changements profonds de la végétation, qui passe de la forêt (sub) andine à la flore steppique (*paramo*) puis, de nouveau, à la forêt (sub) andine. Ces changements peuvent correspondre à un mouvement vertical de 1500 m des limites des zones de végétation, et probablement à des changements de température de 8°C d'amplitude.

Parallèlement à ces variations cycliques de la température, on peut supposer qu'il y eut également d'importantes modifications du degré d'humidité (précipitation effective), qui entraînent des changements considérables du niveau de la lagune de la Sabana.

La comparaison de la courbe des changements de végétation et de température de la Sabana de Bogota avec les courbes d'analyse des isotopes de l'oxygène (représentant le volume d'eau accumulé sous forme de calotte glaciaire dans le monde) et celles des changements dans la composition de la faune des

foraminifères (reflétant les changements de la température des mers) trouvés dans les sédiments océaniques, a montré que la séquence des glaciations et des interglaciations dans les Andes du Nord correspond, en temps et en intensité, à la séquence mondiale. Mais une analyse plus fouillée, comme celle qui va suivre, permettra de découvrir également des différences entre la région andine et le reste du monde.

III. LES DERNIERS 30 000 ANS

Sur les derniers 30 000 ans, qui correspondent à l'âge récent de la dernière glaciation et à notre âge interglaciaire actuel, l'Holocène, nous possédons une information plus large et plus détaillée. Celle-ci repose sur un certain nombre de diagrammes polliniques des trois cordillères colombiennes (orientale, centrale et occidentale) et sur des données concernant l'extension des glaciers (se reporter à l'introduction). D'autres données, très importantes elles-aussi, proviennent de la Sabana de Bogota (2 550 m d'altitude environ), de la lagune de Fuquene (2 550 m approximativement), de la lagune de Pedro Palo (2 000 m environ, sur le versant ouest de la cordillère orientale, vers la vallée de Magdalena), de la Sierra de Cocuy (2 000-5 000 m) et de la vallée de l'El Dorado (1500 m) dans la cordillère occidentale. Toutes ces données, y compris les nombreuses datations fournies par le carbone 14, nous permettent de reconstituer une succession de trois phases principales :

- La phase pléniglaciaire : antérieure approximativement à - 25 000 ou 30 000 ans (Pléniglaciaire moyen). La limite de la forêt se situe autour de 2 500-2 700 m. Les grandes lagunes des hauts plateaux ont un niveau très élevé. Il existe une large zone de *Polylepis* juste au-dessus des bois de *Weinmannia* (*encenillo*) et de *Quercus* (chêne); à l'intérieur de la cordillère orientale, *Quercus* occupe une surface plus étendue qu'aujourd'hui; de même, le climat est alors un peu plus froid et beaucoup plus humide (précipitations effectives élevées) qu'à l'heure actuelle. Les glaciers avaient une grande extension. La zone steppique de graminées (entre la zone de *Polylepis* et les glaciers) était étroite et humide; localement, des langues glaciaires étaient certainement en contact avec la forêt de *Polylepis* (avec *Escallonia* et d'autres essences d'arbres peu élevés; les sédiments fluvioglaciaires contiennent fréquemment des troncs d'arbres).
- La phase du Pléniglaciaire supérieur : - 21 000 à - 14 000 environ. La limite de la forêt peut être fixée, du moins en certaines parties, à 2 000 m d'altitude. La plupart des lagunes des hauts plateaux ont un niveau très bas et sont quasiment à sec. La zone de *polylepis* a disparu en grande partie. Les bois de *Quercus* occupent surtout les versants des cordillères vers les vallées interandines. La zone des forêts de chênes (que l'on trouve aujourd'hui surtout entre 2 000 et 3 000 m) s'est abaissée jusqu'à au moins 1 500 m. Le climat est très froid et beaucoup plus sec qu'à l'heure actuelle. Les glaciers ont déjà bien reculé (jusqu'à 3 500 m, puis 3 900 m environ).

La zone de *páramo* est très large et très sèche, laissant un écart vertical considérable entre les forêts et les glaciers.

- L'Holocène : postérieur à - 10 000 ans ; la limite de la forêt andine se rencontre généralement à 3 500 m et les zones de végétation sont approximativement les mêmes qu'aujourd'hui. *Polylepis* se rencontre en général sous forme de taches forestières dans le *páramo* et, parfois, à la limite de la forêt (en ce cas, il est mélangé à toute une variété d'espèces). La largeur de la zone de *páramo* se situe entre celles des deux premières phases. L'humidité est moyenne. Les glaciers régressent localement jusqu'à 4 000 mètres (petit âge glaciaire), mais c'est généralement beaucoup plus haut qu'on les trouve (4 700 m). Une grande partie des glaciers pourrait avoir disparu durant les excellentes conditions climatiques de l'Holocène (hypsothermic), au moment où la forêt subandine se situait 200-300 m plus haut qu'aujourd'hui, où la limite en altitude de la forêt se situait également à plusieurs centaines de mètres plus haut, et où les températures moyennes actuelles pourraient avoir été supérieures de 1-2°C à ce qu'elles sont aujourd'hui.

Avec des conditions climatiques aussi extrêmes que celles de la période qui se situe entre - 21 000 et - 14 000 ans environ, certaines zones semblent avoir connu des conditions d'extrême sécheresse (voir l'introduction). Tel fut le cas, semble-t-il, dans la zone de la cordillère orientale, entre la Sabana de Bogota et la vallée de Magdalena. Dans la lagune de Pedro Palo, à 2 000 m sur le versant ouest de la cordillère orientale, on n'a trouvé pratiquement aucune trace de présence forestière antérieure à - 12 000 ans mais, en revanche, la prédominance totale d'espèces de végétation ouverte et de flore steppique. Dans ces conditions, il semble que la zone semi-xérophile de Magdalena gagnait en altitude alors que la végétation de *páramo* descendait jusqu'à 2 000 mètres, altitude à laquelle elles se sont probablement rejointes. A cette époque, des types de végétation (semi)-ouverte s'étendaient probablement de la vallée (tropicale) de Magdalena jusqu'aux hauts plateaux et au-delà, constituant des surfaces ouvertes de grandes dimensions et continues. Ces types de végétation servaient apparemment d'habitat à la mégafaune de mastodontes, de chevaux, etc., puisque l'analyse au carbone 14 des ossements de la mégafaune de la vallée de Magdalena et des hauts plateaux de la cordillère orientale nous a fourni des âges se situant entre - 21 000 et - 12 000 ans. Au cours de la dernière glaciation (tardiglaciaire, après - 14 000 environ), le climat commence à se réchauffer progressivement et à devenir plus humide. C'est alors que se développe une nouvelle zone de forêt et de forêt dense sur le versant ouest de la cordillère orientale, séparant les populations de mastodontes de la vallée de Magdalena et celles des hauts plateaux. Au fur et à mesure que s'étendait la forêt andine dans la Sabana de Bogota et dans la vallée de Magdalena, l'aire d'habitat de la mégafaune a dû se rétrécir considérablement. Dans la Sabana de Bogota, elle s'est trouvée réduite à la zone sèche occidentale ; c'est dans cette zone qu'on a trouvé les restes plus tardifs de mastodontes et de chevaux, en même temps que des artefacts paléo-indiens, et il

semble que la présence humaine extermina les dernières petites populations restantes.

IV. L'Holocène : DONNÉES ET MÉTHODES ACTUELLES

Les derniers 10 000 ans (ou Holocène) sont particulièrement importants. L'étude des changements de la flore et du climat de cette période peut nous fournir des renseignements sur d'éventuels cycles climatiques, qui pourront, à leur tour, nous expliquer les grandes lignes des changements climatiques des dernières centaines ou dizaines d'années. Parmi eux, mentionnons la baisse progressive de pluviosité observée sur la côte équatorienne et autres phénomènes rapportés par P. Pourrut (1986).

Les méthodes palynologiques et paléo-écologiques récemment mises au point permettent d'obtenir des données historiques les plus précises possibles.

En premier lieu, il est nécessaire de déterminer un laps de temps assez court (quelques années). Pour ce faire, on doit disposer d'un matériel biologiquement indemne, d'une rapidité de sédimentation suffisante, et qui puisse être daté avec une densité suffisante. Certains types de tourbe offrent ces conditions et l'échantillonnage peut alors se faire tous les centimètres ou 0,5 cm, selon la précision requise.

Pour obtenir une meilleure précision dans le temps, on a mis au point une méthode basée sur la densité de pollen/cm³ des échantillons et sur les dates fournies par le carbone 14, en s'appuyant sur le fait que la quantité de pollen déposée/cm³/an en moyenne dans chaque région est relativement constante. Par cette méthode, on peut donner un âge plus précis à chaque échantillon et déterminer le nombre d'années qu'il représente.

A partir de ces données, on peut faire l'analyse des séries de temps sur les courbes polliniques des différentes espèces ou celle de tout autre paramètre (fractions des dimensions du sédiment, pourcentage de carbone et d'azote, degré d'humidification, etc., contenu en deutérium de la cellulose et sa relation avec la température, etc.). Les premières analyses de ce type réalisées, celles de tourbes européennes, ont donné des résultats très prometteurs, montrant la présence de cycles de l'ordre, entre autres, de 20, 80 et 150 ans, ce qui semble correspondre aux cycles solaires connus.

A l'heure actuelle, nous commençons à appliquer de telles méthodes à des séries d'échantillons de tourbes provenant de la zone nord-andine.

Il est probable que la comparaison de ces données nouvelles avec les données météorologiques des dernières décennies pourra nous permettre de faire des prévisions sur les tendances des changements climatiques dans les années à venir.

Les résultats fournis par les études menées dans la région nord-andine nous donnent une image très dynamique de la flore et nous montrent l'existence de changements climatiques continus et partiellement profonds. Ces changements

peuvent se mesurer en milliers, en centaines ou en dizaines d'années, et nous devons en conclure que notre environnement naturel n'est pas statique mais au contraire très dynamique et qu'il est indubitable qu'une bonne connaissance de cet aspect dynamique est d'une importance fondamentale pour l'humanité.

BIBLIOGRAPHIE

- HOOGHIEMSBRA, H., 1984 : Vegetational and climatic history of the High Plain of Bogotá. A continuous record of the last 3,5 million years. *Dissert. Botan.* 79, 369 pp. Cramer, Vaduz (Also : The Cuaternary of Bogotá, 10).
- VAN DER HAMMEN (T.), DUEÑAS (H. y), THOURET (J.C.), 1980. Guía de excursión Sabana de Bogotá. Primer Seminario sobre el Cuaternario de Colombia, Bogotá, 49 pp.
- VAN DER HAMMEN (T.), 1981. Environmental changes in the Northern Andes and the extinction of Mastodon. *Geol. Mijnb*, 60 (3) : 369-372.
- VAN DER HAMMEN (T.), 1974. The Pleistocene changes of vegetation and climate in tropical South America. *Journ. Biogeogr.* 1 : 3-26.
- VAN DER HAMMEN (T.), 1981/89. The Pleistocene changes of vegetation and climate in the Northern Andes. In : S. Hastersth, *The Glaciation of the Ecuadorian Andes, Appendix IV*, Rotterdam, Balkema, pp. 125-145.
- MIDDELDORP (A.A.), 1982. Pollen concentration as a basis for indirect dating and quantifying net organic and fungal production in a peat bog ecosystem. *Rev. Pa-eol. Palyn.* 37 : 225-282.
- MIDDELDORP (A.A.), 1984. Functional paleoecology of raised bogs ; an analysis has means of polle, density dating, in connection with the regional forest history. *Thesis*, Amsterdam, 124 pp.