Études climatologiques.

Par

DEZYDERY SZYMKIEWICZ.

(Planches I—VII).

XX. La limite thermique des arbres existe-t-elle?

On trouve souvent, dans les travaux phytogéographiques, l'assertion que la limite des arbres, dans les pays arctiques et dans les hautes montagnes, est déterminée par la température, défavorable à la végétation. Ce qui est remarquable, c'est que cette hypothèse est maintenue sans aucune preuve. On n'a pu établir aucune corrélation entre les isothermes et la limite des arbres. Encore moins a-t-on réussi à expliquer physiologiquement cette prétendue funeste action des conditions thermiques sur les arbres, qui ne s'exerce pas sur la végétation des petits arbustes et des plantes herbacées. Essayons d'éclaircir ce malentendu.

Il est indiscutable que la température de l'air exerce une certaine influence sur le parcours de la limite de la végétation arborescente. La preuve en est que l'absence totale des arbres peut être constatée exclusivement sur les terrains ayant de fréquentes gelées. Grâce à la carte des minima moyens annuels, publiée par M^r Brooks et M^{lle} Thorman¹⁾ (fig. 1), on peut délimiter ces terrains assez exactement. Les températures sont marquées sur cette carte en degrés de Fahrenheit. L'isotherme principale pour nous sera celle de 30° F, ce qui correspond à — 1.1 C. On peut donc admettre que cette isotherme délimite les régions, où les gelées constituent un phénomène constant des celles où elles ne sont qu'accidentelles. Nous appellerons les premières froides, les secondes — chaudes. Or, c'est un fait bien connu

¹⁾ Brooks, C. E. P. and Miss Thorman, G. L. The distribution of mean annual maxima and minima of temperature over the globe. — Meteorological Office. Geophysical Memoirs Nr. 44. London (1928).

Fig. 1. La carte des minima annuels moyens de la température de l'air. Les températures sont exprimées en degrés de Fahrenheit. D'après Brooks et Miss Thorman.

que les bords des océans dans les pays froids sont dépourvus d'arbres, par exemple toute la côte de la Norvège et celle de la Terre de Feu, tandis que dans les pays chauds on trouve partout au moins des arbres isolés, sinon des forêts. D'autre part les steppes sont cantonnées dans les pays froids, par exemple en Russie, en États-Unis, en Argentine, à Transvaal etc., tandis que dans les pays chauds cette forme de la végétation est remplacée par les savannes ayant des arbres disséminés. Enfin la région alpine, dépourvue d'arbres, est caractérisée partout par la température tombant par intervalles régulièrement au-dessous du zéro. Cependant il ne s'ensuit nullement que la basse température, à elle seule, soit la cause déterminante de l'absence d'arbres.

Dans la partie IV de ces études ¹⁾, j'ai réuni toutes les données climatologiques disponibles concernant les régions cotières et alpines dépourvues d'arbres. Toutes ces régions ont présenté de forts vents glacials dont la vitesse, mesurée au niveau de 10 m, s'élevait en moyennes mensuelles à 6 mètres sur seconde et davantage. Au contraire, les régions voisines, recouvertes de la végétation arborescente, montraient des vents glacials ne dépassant pas 6 m/sec en moyennes mensuelles. Il s'est trouvée ainsi établie la conclusion que les vents glacials constituent la cause déterminant l'absence des arbres dans les pays froids, tout au moins dans les régions cotières et montagneuses.

Je laisserai ici de côté les régions steppiques, dans lesquelles la température de l'air en été est certainement suffisamment élevée pour suppléer aux besoins de la végétation arborescente et qui, par suite, n'ont pas de rapports directs avec le problème de la limite thermique. Il est d'ailleurs probable que l'absence d'arbres dans ces régions est due également aux vents glacials. J'y reviendrai dans une prochaine partie de ces études.

Depuis la publication de la partie IV de ces études, je n'ai cessé de m'occuper de l'écologie des arbres. Malheureusement, pour des raisons de santé, je ne pouvais monter dans la région alpine de nos montagnes et j'ai été obligé de me rendre dans le Nord, où la limite alpine des arbres se trouve à une faible altitude. Les pays du Nord présentent en outre, naturellement, l'avantage inappréciable de posséder aussi la limite polaire. En 1928, j'ai visité la Laponie suédoise, à savoir les environs d'Abisko et de Stenbaken près du lac

¹⁾ „Sur le rôle écologique des vents“. — Acta Soc. Bot. Polon. Vol. II, Nr. 2 (1924). 130—151.

Torneträsk. Ensuite, grâce à une subvention du Fond de la Culture Nationale, j'ai pu faire en 1929 un voyage en Finlande et Norvège septentrionales. Il m'est un agréable devoir de remercier ici sincèrement MM^{rs} Palmgren et Kujala qui m'ont fourni de précieuses informations sur le territoire arctique de la Finlande. Pendant mon séjour dans ce pays, j'ai profité de la grande sollicitude de la part de la Légation Polonaise, en particulier de la part de M^r Charwat, Ministre de Pologne à Helsingfors, et M^r Warchałowski, Premier Secrétaire de la Légation. Je leur adresse mes bien sincères remerciements.

Le but de ces voyages était l'étude des arbres à leur limite alpine et polaire. Or, j'ai pu constater partout sur l'emplacement de ces limites le phénomène constant du dessèchement des faîtes des arbres. Je l'ai vu sur la limite alpine à Nuolia près d'Abisko, dans les montagnes Saariselkä en Laponie finlandaise et sur les montagnes avoisinant Narvik en Norvège. Extrêmement net et facile à constater, était le phénomène en question dans les montagnes Saariselkä, où le terrain montre des ondulations arrondies à surface unie. Par suite, tous les changements du climat et de la végétation s'y opèrent d'une manière continue. Pour les études phytogéographiques on a en Laponie finlandaise des facilités tout à fait exceptionnelles. On peut traverser en autobus tout le pays du Sud au Nord, de la dernière gare de chemin de fer à Rovaniemi, située au cercle arctique, jusqu'au fiord de Petsamo à l'Océan Glacial, à $69\frac{1}{2}^{\circ}$ de la latitude Nord. La route va d'abord par d'immenses forêts de pins, d'épicéas et de bouleaux. Après avoir traversé la parallèle de 68° , on commence à monter et on entrevoit au loin la chaîne des montagnes de Saariselkä qui constitue le partage d'eau entre la Mer Baltique et l'Océan Glacial. A mesure que la route monte, la végétation change peu à peu. L'épicéa devient de plus en plus rare et, à partir d'un certain endroit, les pins commencent à accuser des faîtes desséchés. D'abord à peine visible, ce phénomène se précise de plus en plus. Avec l'altitude croissante, diminue la hauteur, jusqu'à quelle s'élèvent les parties intactes du tronc et du branchage. Ceci se produit si régulièrement, qu'on pourrait tracer sur une carte des lignes d'égale élévation des arbres intacts. L'allure générale des pins est d'abord normale, mais à une altitude plus élevée ils commencent à souffrir, en prenant des formes de plus en plus rabougries. A une certaine altitude, ils deviennent rares et les bouleaux seuls restent sur le terrain. Sur eux on remarque tout de suite les mêmes phénomènes du dessèchement des faîtes et ensuite le rabougrissement progressif.

Enfin les bouleaux disparaissent à leur tour et l'autobus roule à travers un vaste fjeld dépourvu d'arbres. A un certain moment, la voiture commence à descendre et on va passer en revue encore une fois le même changement dans la végétation, mais en ordre inverse. Il serait vraiment utile de filmer tout ce terrain, ce qui ne présente pas de difficultés d'aucune sorte. J'ai dû me contenter de simples photographies dont quelques unes sont reproduites sur les planches I—IV. La planche VI montre en outre l'aspect des derniers bouleaux à la limite alpine près de Narvik.

Fig. 2. Les sommités des bouleaux croissant au bord de l'Océan Glacial dans une petite baie à l'entrée du fiord de Petsamo; 0/21 de la grandeur naturelle.

Le phénomène du dessèchement des sommités des arbres est également très net à la limite polaire. J'ai pu le constater d'abord sur la presqu'île „des pêcheurs“. La figure 2 reproduit des échantillons recueillis dans une petite baie près de l'entrée dans le fiord de Petsamo. C'étaient des arbustes de 1—1½ mètre environ de hauteur. Les sommités dépourvues des feuilles montrent bien l'action des vents.

Le terrain le plus favorable pour l'étude écologique des arbres à leur limite polaire présentent les îles Lofoten. J'y ai visité, entre autres choses, les environs du village Vestersand sur l'île Vestvågø.

J'ai pu observer sur ce terrain l'affaiblissement de l'action du vent avec l'éloignement du rivage. Au bord de l'océan les plantes ligneuses faisaient complètement défaut, la végétation était composée exclusivement des plantes herbacées dont un nombre notable de halophytes. Un peu plus loin apparaissaient les premiers arbrisseaux: d'abord *Empetrum nigrum* formant un dense tapis, ensuite, disséminés, *Vaccinium uliginosum*, *V. myrtillus* et autres. Ce qui était frappant, c'est que sur ces arbrisseaux les rameaux qui s'élevaient au-dessus du tapis compact d'*Empetrum* étaient desséchés. Surtout *Vaccinium uliginosum*, qui s'élançait le plus en hauteur, souffrait fortement (fig. 3). Le moins abîmé était *Empetrum*, étant donné son mode de

Fig. 3. *Vaccinium uliginosum* recueilli non loin de la mer aux environs de Vestersand sur l'île Vestvagö (Lofoten); 0.24 de la grandeur naturelle.

croissance très touffu et appliqué à la terre. Dans le tapis d'*Empetrum*, j'ai trouvé aussi quelques exemplaires de *Populus tremula* ne s'élevant qu'à 10 cm avec des rameaux rampants. La fig. 4 en représente un en totalité (ce n'est nullement un rameau séparé de l'arbrel). On voit sur cette figure 4 systèmes successifs de ramifications, chaque système aussitôt abîmé à l'exception des rameaux ayant la direction horizontale. Plus loin, à 1 km environ du rivage, les arbrisseaux deviennent sains et apparaissent les premiers bouleaux. Ces bouleaux ont l'aspect caractéristique que nous connaissons déjà, avec des sommités desséchées. La fig. 5 et la pl. V en montrent quelques exemples. Encore un kilomètre à l'intérieur de l'île et on

trouve déjà des bouleaux intacts. Ce tableau se répète sur toutes les îles Lofoten, à l'exception de l'extrême d'entre elles, à l'exception de Röst. Dans cette dernière, il n'y a point des plantes ligneuses, il est difficile d'y trouver même *Empetrum*. Ceci n'est pas étonnant, car Röst a la surface complètement plate qui ne s'élève qu'à 12 mètres au-dessus de la mer, tandis que les autres îles Lofoten ont la surface extrêmement tourmentée, s'élevant jusqu'à 800 mètres.

En résumant, j'ai trouvé partout à la limite des arbres le même aspect des sommités d'arbres et d'arbustes desséchées, la trace fatale de l'action des vents glaciaux. Chacun, qui aura contemplé ce tableau se répétant sur des centaines et des centaines de kilomètres,

Fig. 4. Un exemplaire (en entier!) de *Populus tremula* recueilli non loin de la mer aux environs de Vestersand sur l'île Vestvagö (Lofoten); 0,29 de la grandeur naturelle.

arrivera à la conclusion qu'aucun autre facteur climatique n'est la cause déterminante de l'absence d'arbres dans les régions froides du globe.

En particulier, l'absence d'arbres ne peut pas être attribuée à la température seule. Pour ce qui est de la limite polaire, Kihlman ¹⁾ l'a établi déjà il y a longtemps. Son admirable ouvrage contient une carte, due à Petrelius, représentant la végétation de la presque île

¹⁾ Kihlman, A. O. Pflanzenbiologische Studien aus Russisch Lappland. Ein Beitrag zur Kenntnis der regionalen Gliederung an der polaren Waldgrenze. — Acta Societatis pro Fauna et Flora Fennica. T. VI, Nr. 3 (1890).

de Kola (planche VII). Cette carte représente la limite polaire des arbres, la limite relevée sans simplifications. On voit qu'elle est extrêmement irrégulière. La partie septentrionale du terrain est couverte par la toundra, mais le long de toutes les rivières s'avancent vers la mer des bandes des forêts, formant des figures tout à fait phantastiques. Ce qui est remarquable, c'est que ces bandes s'arrêtent avant d'atteindre les rivages: les bords de l'océan sont nus sur toute

Fig. 5. Les sommités des bouleaux recueillies à une distance plus grande de la mer que les échantillons représentés sur les figures 6—8, aux environs de Vestersand sur l'île Vestvagö (Lofoten); 0.24 de la grandeur naturelle.

leur étendue. Ce parcours de la limite polaire des arbres suffit seul pour démontrer que la température n'y est pour rien. En effet, les variations de la température sur un terrain n'accusant pas de variations trop brusques de l'altitude, comme cela est justement le cas ici, sont toujours continues et régulières. Au contraire, le vent varie extrêmement fort sur tout terrain quelque peu accidenté. Il est en général faible dans les vallées, c'est pour ça que les forêts s'avan-

cent dans la toundra le long des rivières. Mais aux embouchures, le vent venant du large entre sans difficulté, c'est pour ça que les

Fig. 6. Les vents aux mois de janvier et février sur l'Océan Atlantique. Les flèches doubles indiquent les vitesses du vent supérieures à 12 m/sec; les flèches fortement tracées indiquent les vents de 9—12 m/sec et les flèches fines — ceux de 6—9 m/sec. D'après Hann.

rivages sont partout dépourvus d'arbres. Dans les fiords de la Norvège, on voit partout la même chose en miniature: les forêts de bou-

leaux et la toundra se succèdent parfois à quelques centaines de mètres de distance.

Tout naturaliste, visitant les pays du Nord est frappé par l'abaissement très forte de la limite alpine des arbres. Au delà du cercle polaire, cette limite ne s'élève guère au-dessus de 700 *m* et descend par endroits presque jusqu'au niveau de la mer, en se confondant avec la limite polaire. On a l'impression qu'il s'agit ici de l'action de la température: plus la température est basse, plus la limite des arbres s'abaisse aussi. Cependant, il n'en est rien. L'abaissement de la limite des arbres, dans les pays arctiques, est provoquée par les vents qui sont particulièrement forts dans cette zone. On le voit très nettement sur les cartes des vents que j'emprunte au traité de Hann (fig. 6 et 7). Sur ces cartes les vents les plus forts, ayant la vitesse supérieure à 12 *m/sec*, sont représentés par des flèches doubles, les vents de 9—12 *m/sec* — par des flèches fortement tracées et les vents de 6—9 *m/sec* par des flèches fines. La représentation est limitée ici à la mer. Sur la terre, la vitesse des vents est naturellement plus faible, mais leur force relative doit être à peu près la même que dans les zones correspondantes de la mer. Or, on voit que les pays froids sont pendant l'hiver travaillés par des vents beaucoup plus forts que les pays plus chauds. Étant donné que ce sont justement les vents qui dessèchent les arbres, on voit que l'abaissement de la limite alpine des arbres est provoqué par le même facteur qui est la cause fondamentale de ce phénomène phytogéographique qu'on appelle la limite alpine des arbres en général.

Le rôle des vents dans la production de la limite des arbres explique facilement l'élévation progressive de cette limite avec l'éloignement de la mer, ce qui a été étudié par Mr Fries¹⁾, dans la région de Tromsö. La figure 8 reproduit la carte établie par cet auteur. On y voit la limite des arbres monter de 400 *m* au voisinage des îles qui suivent ici le rivage de la Norvège jusqu'à 700 *m* aux confins de la Suède.

En fin de compte, on peut conclure que les arbres ne sont pas plus sensibles à l'action de la basse température que tous les autres végétaux. En conséquence, la limite thermique de la végétation arborescente n'existe pas. En revanche, les arbres sont très sensibles à l'action des vents glaciaux qui provoquent

¹⁾ Fries, T. C. E. Björkskogsgränsens höjdläge inom Tromsö amt. — Tidskrift för Skogsbruk. Vol. 29 (1921) 48—72.

une forte transpiration, en déprimant le transport d'eau. Cette sensibilité n'est pas une faiblesse parti-

Fig. 7. La carte des vents aux mois de juillet et août sur l'Océan Atlantique. La même représentation que sur la fig. 10. D'après Hann.

culière propre aux arbres, elle résulte simplement de leur élévation au-dessus du sol dans les couches plus

mouvementées de l'air. Les vents glacials sont seuls responsables de l'absence des arbres dans les terrains caractérisés par de fréquentes gelées, à moins

Fig. 8. La carte des isohypses de la limite des arbres dans la région de Tromsø.
D'après Fries.

que ce ne soient les conditions orographiques ou pédologiques qui empêchent les arbres de croître.

Par suite, la limite polaire des arbres n'existe pas.

Ce qu'on appelle ainsi est une limite maritime. Les arbres se seraient avancés beaucoup plus vers les pôles, si les continents allaient plus loin dans cette direction.

Laboratoire de Botanique de l'École Polytechnique de Lwów.

Explication des planches.

Planche I.

En haut. Laanila. Un grand pin au faite desséché, ayant d'ailleurs la forme conique normale.

En bas. Laanila. Trois pins abîmés par le vent. Le plus haut, à l'extrême droite a la forme conique avec le faite desséché. Les deux arbres, à gauche, moins élevés, n'ont pas de branchages desséchés, mais présentent des faites aplatis, ce qui est probablement le résultat de la destruction de la sommité terminale.

Planche II.

En haut. Laanila. A gauche, un pin au faite desséché; à droite, un pin moins élevé, intact.

En bas. Laanila. Deux pins abîmés: l'un avec le faite desséché, l'autre avec le faite aplati. A côté d'eux, les bouleaux intacts malgré leur taille égale.

Planche III.

En haut. Laanila. Les branches d'un pin avec les sommités desséchées.

En bas. Laanila. Un pin abîmé, s'élevant au-dessus des bouleaux intacts. A son faite, une touffe de branches formée à la suite de la destruction de la sommité terminale.

Planche IV.

Laanila. Les bouleaux près de la limite alpine, plus ou moins abîmés par les vents.

Planche V.

En haut. Vestersand. Un bouleau avec des sommités desséchées.

En bas. Trifona (fiord de Petsamo). Les bouleaux avec les sommités desséchées.

Planche VI.

Narvik. Les bouleaux à la limite alpine aux faites desséchés.

Planche VII.

La carte de la végétation de la presqu'île de Kola. D'après Petrelius.

Une correction à la partie XIX de ces études.

Dans la description de l'actinomètre blanc-noir, il s'est glissé une erreur concernant le temps nécessaire pour que l'appareil arrive à l'état de l'équilibre thermique. Il faut pour cela 9 minutes environ et non 5. Ce temps varie d'ailleurs quelque peu d'un exemplaire à un autre.

Il est évident qu'on pourrait travailler plus vite, avec une exposition relativement courte, si l'on applique une correction convenable à la différence observée des températures. Ceci est très important, lorsqu'on mesure la radiation pendant un jour à nébulosité variable. Le problème qui se pose sera l'objet d'une étude ultérieure.

Pour les observations climatologiques, exécutées tous les jours à la même heure, l'inertie thermique de l'actinomètre pourrait être utile, car elle permet d'obtenir les valeurs de la radiation moyennes pour le temps avoisinant le terme des observations. On pourrait procéder de la façon suivante. On expose l'actinomètre à l'action du rayonnement 15 minutes avant le terme de l'observation et on note les températures à 5 minutes avant le terme, à l'heure précise de l'observation et à 5 minutes après elle. On prend la moyenne de ces trois séries des températures et on calcule, d'après cette moyenne, l'intensité moyenne de la radiation pour le terme donné.

Laanila.

Laanila.

Laanila.

Laanila.

En haut: Vestersand. En bas: Trifona.

Narvik.

La carte de la végétation de la presqu'île de Kola. Les terrains recouverts des forêts sont marqués par des hachures. La ligne fortement tracée indique la limite septentrionale des pins. — D'après Petrelius.