

# Études climatologiques.

Par

DEZYDERY SZYMKIEWICZ.

---

## IV. Sur le rôle écologique des vents.

Dans la deuxième partie de ces études<sup>1)</sup> j'ai traité en passant l'influence exercée par les vents sur les plantes alpines. Le rôle des vents dans la vie des végétaux est tellement important que cela vaut de la peine d'y revenir et de le considérer de plus près.

Le rôle écologique des vents est basé sur ce qu'ils accélèrent la transpiration. Cette action des vents est malheureusement trop peu connue jusqu'ici. On peut dire qu'en principe l'accélération de la transpiration des plantes vasculaires doit être plus faible que celle de l'évaporation se produisant à la surface d'une masse d'eau. En effet, la surface évaporante des plantes vasculaires se trouve à l'intérieur des feuilles et des tiges dans les espaces intercellulaires inaccessibles aux courants d'air. L'action du vent se réduit au balayage de la surface externe de l'épiderme, à l'enlèvement de la vapeur d'eau qui sort par les stomates, la vapeur émise par l'épiderme lui-même pouvant être négligée. La transpiration peut être comparée au séchage du linge dans une chambre qui a des fenêtres ouvertes d'un seul côté. L'évaporation est comparable au séchage du linge dehors en plein vent. Or, on a trouvé que l'évaporation est proportionnelle, toutes choses égales d'ailleurs, à la racine carrée de la vitesse du vent. L'influence du vent sur la transpiration doit être plus faible, à moins que n'interviennent ici d'autres causes. Il y en a notamment une qui est très importante et qui malheureusement ne peut pas être déterminée numériquement, c'est l'expulsion pure-

---

<sup>1)</sup> Acta Soc. Bot. Polon. Vol. I, Nr. 4, 1923.

ment mécanique de l'air des espaces intercellulaires par suite des déformations subies par la plante sous l'action du vent.

Ce qui importe dans la vie des végétaux, ce n'est pas la quantité d'eau perdue par la transpiration, la chose capitale c'est le bilan d'eau. Lorsque la plante est en état de recouvrer les pertes d'eau causées par la transpiration, l'intensité de celle-ci a peu d'importance. Ce n'est que quand l'absorption d'eau par les racines ne peut compenser les pertes que l'intensité de la transpiration entre en jeu. Ce cas arrive, entre autres, lorsque la température baisse au-dessous du zéro. Par conséquent, il faut considérer séparément l'action des vents en été et en hiver. Il semble même que l'influence des vents soit beaucoup plus importante dans le dernier cas.

Pour pouvoir étudier le rôle écologique des vents, il faut savoir exactement leur vitesse et les variations de cette vitesse en temps et en espace. Malheureusement nous sommes très peu renseignés là-dessus. D'abord, dans beaucoup de pays, les stations météorologiques n'ont pas d'anémomètres, et la vitesse des vents n'est pas mesurée mais simplement estimée par l'observation des mouvements qu'exécutent les différents objets sous l'action du vent. Il est vrai qu'on peut réduire ces estimations aux valeurs absolues, mais les résultats obtenus par les différents observateurs ne sont pas toujours comparables entre eux à cause des différences personnelles très difficiles à caractériser. Ensuite, on met les anémomètres au-dessus du sol à une hauteur qui varie fortement d'une station à l'autre: de 5 mètres à 10 et 20, voire 30 et davantage. Les observations anémométriques officielles ne sont pour cette cause que très rarement tout à fait comparables entre elles. Néanmoins, en utilisant les matériaux météorologiques officiels on peut éclaircir beaucoup de questions concernant l'influence des vents sur la végétation, car la vitesse des vents, qui augmente d'abord très fortement avec l'élévation au-dessus du sol, change ensuite de plus en plus lentement. Ceci ressort des observations exécutées par Mr Hellmann<sup>1)</sup> à Nauen sur une vaste prairie dans la période de décembre 1912 jusqu'à novembre 1913. Cet auteur a observé les vitesses moyennes suivantes:

Au niveau de	2 m	—	3.29 m/sec
"	"	"	16 m — 4.86 "
"	"	"	32 m — 5.54 "

<sup>1)</sup> Ueber die Bewegung der Luft in den untersten Schichten der Atmosphäre. — Meteorologische Zeitschrift. XXXII (1915), 2—3.

Il en déduit par interpolation pour les niveaux intermédiaires les valeurs:

5 m	—	4.05 m/sec
10 „	—	4.53 „
15 „	—	4.85 „
20 „	—	5.15 „
25 „	—	5.33 „
30 „	—	5.50 „

On serait même tenté de faire la réduction des divers résultats à la même hauteur. Malheureusement ceci est impossible, parce que l'entourage des stations est très différent, tantôt libre, tantôt encombré d'édifices, d'arbres etc.

On observe les vents les plus forts aux bords des océans et dans les parties les plus élevées des montagnes. Ainsi on a trouvé une vitesse moyenne des vents: à Skomvaer (Iles Lofoten) — 6.8 m/sec (voir plus bas la table XI), à Wilhelmshaven — 6.8<sup>1)</sup>, à Jersey — 7.1<sup>2)</sup> à Valencia (Irlande) — 7.4<sup>2)</sup>. D'autre part, on a constaté au sommet de Brocken (1148 m) la vitesse des vents de 8.6 m/sec en moyenne, au sommet de Jaïla (en Crimée) à l'altitude de 1180 m — 6.1, au sommet de Schneekoppe (1610 m) — 7.4 (voir plus bas les tables III—V). Les montagnes plus élevées ne donnent pas en général de vitesses plus grandes. J'ai déjà cité dans la deuxième partie de ces études les chiffres se rapportant aux cimes plus élevées: Obir (2140 m) avec 5.2 m/sec, Säntis (2500 m) avec 7.7, Sonnblick (3100 m) avec 7.5, Pikes Peak (4308 m) avec 9.2. Il n'existe aucune corrélation entre l'altitude et la vitesse des vents. La plus grande vitesse — 15 m/sec — a été observée au sommet de Mt. Washington qui ne s'élève qu'à 1950 m. C'est tout simplement l'absence de toute résistance de la part de la croûte terrestre qui permet aux couches supérieures de l'atmosphère d'acquérir une grande vitesse et de heurter violemment les parties les plus élevées des montagnes. Au-dessus des océans les couches de l'air moins élevées peuvent déjà se mouvoir librement pour la même cause, d'où la violence des vents venant du large.

Au contraire, la surface plus ou moins accidentée de la terre ferme présente une forte résistance qui ralentit considérablement les mouvements des couches inférieures de l'atmosphère. Ce n'est que sur les plaines très unies et très étendues qu'on trouve des vitesses

<sup>1)</sup> H a n n, J. Lehrbuch der Meteorologie (1901) p. 387.

<sup>2)</sup> H a n n, J. Lehrbuch. p. 385.

qui se rapprochent de celles observées aux bords des mers et aux cimes des montagnes. Ainsi à Amarillo situé dans les grandes plaines du Texas on a constaté pour la période 1895—1904 la vitesse de vents de 6.7 m/sec en moyenne (à 20 m au-dessus du sol). A l'intérieur des continents, dans les pays ayant une surface médiocrement accidentée, la vitesse des vents ne dépasse pas 4 m/sec en moyenne. Par exemple, nous trouvons pour la période de 1895—1904 les valeurs:

Varsovie (à 23.0 m au-dessus du sol) — 3.7 m/sec
Wilno („ 10.7 m „ „ „ ) — 3.5 „
Moscou („ 16.5 m „ „ „ ) — 3.9 „
Kazan („ 18.5 m „ „ „ ) — 3.1 „
Tomsk („ 10.5 m „ „ „ ) — 2.6 „
Irkoutsk („ 16.2 m „ „ „ ) — 2.4 „

Dans les pays montagneux, la vitesse des vents est extrêmement variable suivant les conditions locales et absolument indépendante de l'altitude. Elle reste souvent inférieure à la vitesse des vents dans les plaines et ne la dépasse que rarement. Les valeurs réunies dans la table I montrent cela de la façon la plus nette.

Table I.

Stations	Altitude m	Élevation de l'ané- momètre m	Vitesse de vents m/sec	Période
Helena (Montana). 46° 34' N, 112° 04' W	1252	28	3.4	1895—1904
Denver (Colorado). 39° 45' N, 105° 0' W	1618	46	3.6	
Lander (Wyoming). 42° 50' N, 108° 45' W	1639	11	1.9	
Cheyenne (Wyoming). 41° 08' N, 104° 48' W	1861	18	4.9	
Santa Fe (N. Mexico). 35° 41' N, 105° 57' W	2133	15	3.1	
Goudaour (Caucase). 42° 28' N, 44° 28' E	2204	8	2.1	
Khorog (Pamir). 37° 27' N, 71° 30' E	2085	7	1.1	1899—1903
Arequipa (Pérou). 16° 22' S, 71° 33' W	2451	?	3.0	1892—1895

Très intéressantes sont les conditions anémométriques sur le haut plateau du Pamir. La vitesse des vents est ici tellement variable que les valeurs moyennes deviennent absolument inutiles. Je donne dans la table II les valeurs de cette vitesse séparément pour chaque mois et pour chaque heure-terme.

Table II.

Pamirski Post (38° 11' N, 74° 2' E, 3640 m) Vitesse des vents en m/sec à 6 m au-dessus du sol.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1895	7h 13h 21h	1.9 4.5 3.1	2.3 8.1 4.7	0.4 4.8 3.1	0.5 5.3 4.5	1.3 13.0 6.8	1.1 7.4 5.7	2.0 5.2 3.9	0.7 4.7 5.7	0.6 2.5 3.6	0.4 1.3 0.9	0.3 0.8 0.5	0.5 0.8 0.5
1896	7h 13h 21h	0.3 0.3 0.3	0.1 1.6 0.9	0.1 3.4 1.5	0.8 2.3 1.2	0.1 2.1 1.7	— — —	0.2 0.9 1.3	0.1 1.0 1.8	0.2 0.9 1.4	0.0 0.3 0.1	0.1 0.3 0.3	0.2 0.5 0.7
1897	7h 13h 21h	0.1 0.1 0.0	0.2 0.3 0.2	0.1 2.2 0.7	1.4 6.1 1.7	2.0 9.2 4.4	1.1 5.4 3.2	2.1 4.2 5.2	1.0 2.8 4.3	0.9 4.5 4.7	0.7 4.1 4.0	1.7 5.2 3.5	1.7 3.7 3.6
1898	7h 13h 21h	3.1 4.6 3.7	3.0 3.1 3.2	2.9 7.4 5.2	1.6 6.8 4.5	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —
1899	7h 13h 21h	1.0 2.3 3.0	1.0 2.5 3.0	0.4 6.9 4.6	1.7 7.2 5.9	— — —	0.6 4.7 4.4	0.8 4.1 7.6	0.6 2.1 3.6	0.4 1.7 2.4	1.4 3.2 1.9	1.7 3.2 3.4	2.2 2.0 1.1
1900	7h 13h 21h	2.3 1.6 2.1	— — —	2.8 5.9 2.0	1.8 9.6 5.1	0.5 4.8 2.0	0.6 2.9 2.7	0.7 3.4 4.1	1.0 2.3 3.0	1.9 3.0 4.4	— — —	— — —	— — —
1901	7h 13h 21h	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —	0.9 2.2 3.3	1.9 7.7 3.8	0.0 0.8 0.0	0.0 1.3 0.8	— — —
1902	7h 13h 21h	0.3 0.3 0.0	0.1 0.3 0.1	0.0 1.0 0.5	0.0 1.3 0.5	0.1 2.1 0.3	0.0 1.9 1.0	0.3 1.9 3.0	0.0 0.8 1.0	0.0 1.6 0.4	— — —	— — —	1.6 2.3 1.6
1903	7h 13h 21h	1.4 2.0 1.8	1.6 2.1 2.0	2.0 7.1 3.8	2.0 8.6 3.5	1.7 7.5 3.3	2.0 8.5 4.5	2.0 5.0 4.9	0.6 4.1 5.2	— — —	0.2 2.1 1.0	0.0 1.8 1.4	0.4 1.6 0.7
1904	7h 13h 21h	0.6 0.8 1.5	0.5 0.5 1.1	0.5 6.0 2.3	0.7 8.8 4.6	0.8 4.1 1.9	0.6 3.0 1.9	0.9 3.0 1.9	— — —	— — —	— — —	— — —	— — —

Les données numériques qui viennent d'être citées montrent clairement que les vents sont incapables de contre-balancer l'influence de l'humidité de l'air sur la végétation alpine. En effet, d'après les matériaux exposés dans la deuxième partie de ces études, l'indice d'évaporation est dans la zone tempérée cinq fois plus petit à l'alti-

tude de 2000 m que dans la plaine, il diminue encore deux fois lorsqu'on monte à 3000 m (Eichberg [349 m] — 9.6 mm, Schneekoppe [1603 m] — 2.3 mm, Sonnblick [3100 m] — 0.9 mm). Les vents auraient dû, par conséquent, accélérer la transpiration cinq fois à l'altitude de 2000 m et dix fois à l'altitude de 3000 m pour la relever au niveau propre aux plaines. Il est fort douteux que les vents des montagnes, qui sont tout au plus trois fois plus forts que ceux de plaines, puissent produire un tel effet. Quant au Pamir, avec un indice d'évaporation s'élevant à 21.8 mm et les précipitations de 62 mm par an, son climat est tellement sec que les vents n'y peuvent pas ajouter beaucoup.

Ainsi les vents plus forts qui agissent sur les parties les plus élevées des montagnes ne changent en rien, à eux seuls, l'extrême humidité du climat tempéré alpin. Mais ils produisent un effet tout opposé lorsqu'ils viennent se combiner avec des gelées. Les pertes d'eau que subissent les végétaux sous l'action des vents glacials sont faibles parce que l'indice d'évaporation descend très bas avec la température. Cependant, l'absorption et le transport de l'eau étant ralentis ou coupés par la gelée, les végétaux ou plutôt leurs organes exposés au vent sèchent rapidement et périssent. Cet effet a été maintes fois observé non seulement dans les montagnes mais aussi dans les pays arctiques et même tempérés. Naturellement, les vents glacials n'exercent leur influence funeste que quand ils sont suffisamment forts. En examinant les données météorologiques officielles on arrive facilement à la conclusion qu'une vitesse moyenne de 6 m/sec est déjà mortelle aux végétaux.

De tous les types écologiques des végétaux les arbres souffrent le plus sous l'action des vents glacials, parce qu'ils s'élèvent considérablement au-dessus du sol et sont, par suite, privés de tout abri, offert aux plantes herbacées et aux arbrisseaux par les enfractuosités du sol et par la neige. En outre la vitesse du vent augmente avec l'élevation au-dessus du sol, ce qui a une grande influence sur la végétation arborescente. Il est donc tout naturel de considérer les vents glacials comme les ennemis des arbres et comme leurs ennemis absolus, absolus en ce sens que leur action ne peut être paralysée par aucun autre facteur.

Il n'y a pas, outre les vents glacials, de facteurs climatériques qui soient absolument hostiles à la végétation arborescente. On la trouve dans tous les climats, chauds et froids, humides et sec, océaniques et continentaux, à une seule condition de n'être pas

exposée aux vents glacials. On trouve dans les pays chauds de grandes étendues sans forêts, on n'en trouve guère qui soient dépourvues totalement de végétation arborescente. Il n'y a pas de steppes ici: les régions, ayant un climat trop sec pour les forêts, sont couvertes des savannes (p. ex. en Afrique Centrale et au Brésil Central). Même dans les déserts on trouve souvent des arbres isolés ou au moins des *Cactacées* géantes qui, au point de vue écologique, sont tout à fait comparables aux arbres, en rentrant avec eux dans le groupe des macrophanérophytes de Raunkiaer. Dans les régions les plus arides, complètement dénudées, il suffit une source, sans aucun changement dans les conditions atmosphériques, pour provoquer le développement luxuriant de la végétation arborescente: des palmiers etc. Au contraire, dans les pays froids, c'est-à-dire dans ceux où la température s'abaisse souvent au-dessous de zéro, on rencontre des régions plus ou moins étendues dépourvues totalement de la végétation arborescente: des steppes, des bruyères, des toundras. On trouve parfois dans ces régions dénudées des arbres et même des forêts, mais exclusivement dans les dépressions où les vents sont faibles. D'autre part, il n'existe point de sol assez stérile pour exclure absolument la végétation arborescente: on trouve des arbres partout, dans les endroits les plus défavorables à la vie jusque sur les rochers et jusque sur le sol éternellement gelé de la Sibérie.

Il est possible que l'été court et froid suffirait seul pour empêcher les arbres de croître, sans aucun concours des vents. Mais c'est un cas qui ne se trouve point réalisé dans les pays polaires, car ils sont couverts des glaciers qui rendent impossible toute végétation. Il n'y a que les rivages qui y sont, par endroits, libres de glaces, mais là interviennent les vents glacials du large qui suffisent seuls pour anéantir la végétation arborescente. De même dans les montagnes il n'y a point de région ayant un été court et froid qui ne soit exposée aux forts vents glacials.

Les conditions climatiques extrêmes peuvent empêcher une certaine espèce d'arbres de croître dans une région, par exemple le sapin, le mélèze et l'épicéa ne supportent pas l'air trop sec, la plupart d'arbres ne peuvent pas pousser sur un sol contenant trop de sels etc. Mais il s'en trouve toujours d'autres qui supportent bien ces conditions: ainsi certaines espèces de pin croissent très bien dans l'air très sec des déserts d'Arizona et les mangroves poussent dans l'eau de mer. Les vents glacials, au contraire, ne

permettent pas de croître à aucun arbre de quelque espèce qu'il soit.

La répartition géographique de la végétation arborescente démontre très clairement la proposition qui vient d'être énoncée. Commençons par la montagne. Nous prendrons comme exemples des montagnes peu élevées qui n'en sont pas moins dépourvues d'arbres au sommet: Brocken (1148 m), laïla en Crimée (1180 m) et Schneekoppe (1603 m). Les tables III, IV et V donnent un aperçu des conditions atmosphériques à leurs sommets. Dans ces tables et dans toutes les suivantes la vitesse des vents est donnée en m/sec. Le signe *h* indique l'élevation d'anémomètre au-dessus du sol. Le signe [E] indique que la vitesse des vents n'a pas été mesurée, mais simplement estimée au moyen d'une échelle conventionnelle. On voit très bien dans ces tables la coïncidence des forts vents avec les gelées ce qui suffit pour expliquer l'absence des arbres à ces stations. Au contraire à Zakopane, qui est entouré des forêts, nous trouvons à l'altitude de 830 m les mêmes gelées mais accompagnées des vents beaucoup plus faibles (Table VI).

Un fait énigmatique présente Goudaour, une localité du Caucase, située sur le versant Sud de la chaîne principale à l'altitude de 2204 m. La végétation arborescente manque ici malgré les vents très faibles (cfr. la table I). Une étude exécutée sur place peut seule éclaircir cette question.

En passant ensuite aux pays arctiques, examinons d'abord le parcours de la limite polaire de la végétation arborescente, en nous servant pour cela de la carte de M<sup>r</sup> Brockmann-Jerosch<sup>1)</sup>. Cette limite longe avec une constance remarquable les lignes de rivages en changeant constamment de direction avec elles. Dans l'Alaska elle va du Nord au Sud, perpendiculairement à sa direction habituelle. Dans le Labrador elle découpe une étroite bande de toundra sur le rivage Nord-Est. Cette bande se prolonge sur la Terre-Neuve, ce qu'on voit très bien sur la carte (fig. 8), tracée d'après celle de M<sup>r</sup> Harshberger<sup>2)</sup> (la carte de M<sup>r</sup> Brockmann-Jerosch n'est pas tout à fait correcte dans ce point). En Asie Orientale, la limite de la végétation arborescente forme un étrange crochet en arrière pour contourner les rivages de la mer de Béring. Par les deux océans, la limite descend loin vers le

<sup>1)</sup> Baumgrenze und Klimacharakter. — Berichte der Schweizerischen Botanischen Gesellschaft. Supplément au fascicule XXVI (1919).

<sup>2)</sup> Phytogeographic Survey of North America. Leipzig et New York (1911).

Table III.

Brocken. 51° 48' N, 10° 37' E, 1148.1 m (1896-1905).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-6.2	-7.0	-4.8	-2.6	1.5	6.0	7.4	7.0	4.7	0.8	-3.0	-5.7
T. min. abs. moy.	-14.1	-14.3	-10.8	-8.3	-4.7	0.2	2.1	2.5	-0.4	-5.2	-10.3	-14.0
Jours de gelée	29.4	26.9	28.2	22.6	12.3	1.1	0	0	2.0	14.7	24.1	29.5
Vents [E]	10.0	10.2	9.0	8.5	7.5	7.1	7.3	8.0	8.3	8.7	9.0	9.5

Table IV.

Ai-Petri (laila en Crimée) 44° 28' N, 34° 5' E, 1180 m (1898, 1900-1908).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-7.3	-5.2	-4.2	0.1	6.2	9.9	11.8	11.9	6.9	4.2	-1.9	-4.2
T. min. abs. moy.	-16.2	-14.1	-14.9	-7.0	0.2	5.5	7.2	5.5	-0.5	-3.9	-10.3	-14.5
Jours de gelée	28.1	22.9	23.5	15.4	1.2	0.1	0	0	1.9	6.2	18.6	22.5
Vents [h = 8.3 m]	7.8	6.8	5.7	7.2	5.3	4.7	4.9	5.3	5.8	5.5	6.1	8.0

Table V.

Schneekoppe. 50° 44' N, 15° 44' F, 1610.5 m (1895-1904).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy	-91	-10.6	-7.9	-4.9	-0.2	3.6	5.5	5.1	2.7	-1.3	-5.4	-8.5
T. min. abs. moy	-178	-18.2	-15.4	-11.9	-7.1	-1.9	0.0	-0.1	-3.5	-8.1	-13.5	-17.5
Jours de gelée	30.3	27.7	29.8	25.9	15.8	4.9	1.2	1.3	7.9	18.4	26.1	30.3
Vents [E]	9.2	9.4	8.1	7.3	6.5	6.1	6.3	6.5	6.9	7.5	7.7	9.0

Table VI.

Zakopane. 49° 17' N, 19° 58' E, 830 m (1919).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-5.2	-8.3	-4.1	-0.1	1.2	6.7	7.8	7.4	6.4	0.2	-5.3	-8.4
T. min. abs.	-16.2	-21.0	-15.5	-5.8	-3.2	2.0	0.4	-0.8	-1.0	-6.3	-17.8	-20.2
Vents [E]	2.1	1.9	2.1	2.1	1.7	2.7	1.9	2.3	2.0	1.8	2.2	2.4



Sud, mais elle n'entre pas dans les régions où les gelées sont rares.

Pour expliquer ce parcours étrange, il suffit de se rappeler que, les vents sont très vifs aux bords des océans. Dans les pays chauds



Fig. 8.

leur influence sur la végétation arborescente se fait remarquer par les déformations parfois très singulières, mais ils n'empêchent pas les arbres d'atteindre de grandes dimensions, ce qu'on voit sur la fig. 9 qui reproduit une photographie de Mr Burchard<sup>1)</sup>. Nous

<sup>1)</sup> Meteorologische Zeitschrift. XXXIX (1912) pl. I.

avons ici un pied de *Juniperus phoenicea* qui s'est développé dans l'île Ferro sous l'influence des passates dans un climat sans gelées. Ce n'est que quand les vents sont accompagnés des gelées, qu'ils deviennent hostiles à la végétation arborescente.

Nous allons maintenant passer en revue une série des stations dépourvues de la végétation arborescente en les comparant, en mesure de possible, aux stations les plus proches couvertes des arbres.

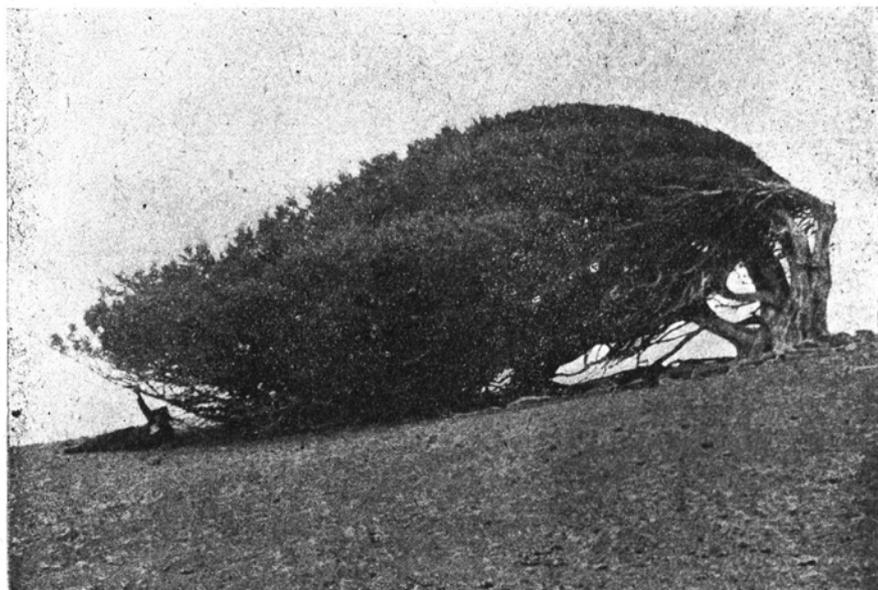


Fig. 9.

En commençant par les régions les plus froides du globe, nous allons considérer Sagastyr et Rousskoïe Oustie situés au bord de l'Océan Glacial dans la toundra sibérienne, Oust-Iansk situé à la limite de la végétation arborescente et Verkhoïansk qui se trouve déjà dans le domaine des forêts. Les tables VII—X montrent bien la différence très nette dans le régime des vents à côté de la grande ressemblance des conditions thermiques.

Dans la Norvège, malgré le climat très doux, nous trouvons des cas tout à fait analogues. P. ex. les îles Lofoten, où sévissent les vents du large sont dépourvues de végétation arborescente, tandis qu'à Tromsøe abrité par les montagnes croissent des forêts de bouleau malgré la température beaucoup plus basse (voir les tables XI et XII).

Nous avons la même chose beaucoup plus au Sud, en deçà du cercle polaire, en comparant Skudenes et Bergen (voir les tables XIII et XIV). Sur le littoral (où se trouve Skudenes) on a des bruyères, aux environs de Bergen — des forêts. La carte de M<sup>r</sup> Brockmann-Jerosch ne tient pas compte de ce fait.

Encore plus au Sud, en Allemagne, on a aux bords de la mer du Nord d'étendus considérables couvertes des bruyères sans végétations arborescente. Les vents du large pénètrent ici assez loin à l'intérieur de la terre à cause de l'élevation très faible du terrain. La table XV, qui se rapporte à Hambourg, montre clairement la persistance de vents glacials assez forts pendant une notable partie de l'année. Ces vents sont encore plus forts près des rivages, p. ex. à Wilhelmshaven, où la moyenne annuelle de la vitesse du vent, comme nous l'avons vu plus haut, est de 6.8 m/sec.

Il est très probable que l'absence de la végétation arborescente dans les landes du littoral français de l'Océan est due également aux vents glacials. Malheureusement, le manque de matériaux m'empêche d'examiner cette question de plus près.

Nous allons encore considérer les îles Féroé qui ont un climat tellement doux que toutes les moyennes mensuelles des températures minima sont au-dessus du zéro. Cependant on constate facilement que les gelées y sont très fréquentes et dès lors l'absence de la végétation arborescente dans ces îles devient explicable (voir la table XVI).

Transportons-nous maintenant dans l'autre hémisphère. Nous y trouverons les mêmes relations entre le climat et la végétation. Les îles Falkland sont tout à fait comparables aux îles Féroé. M<sup>r</sup> Skottsberg, qui les a explorées avec beaucoup de soin, s'exprime dans les termes suivants :

„I do not think that anybody has drawn sufficient attention to the great likeness between the vegetation of the Falklands and the Atlantic heath, such as it is developed in Scotland, on the Faeröes etc. and in western Norway. During a visit in the region of Bergen I was quite struck as we arrived at the *Erica*-zone, where climatic factors distinctly inimical to the growth of tree enter, for the vegetations of this zone in many respects strongly resembled what I had seen in the Falklands: the same dark ericaceous heath with similar mosses and lichens, with grasses also here grazed on by sheep, with ferns and herbs of the same growth-forms: not less is one struck by the occurrence of *Hymenophyllum tunbrigense*, densely matted in the crevices just as *H. falclandicum* in the south... Taken as whole,

Table VII.

Sagastyr. 73° 23' N, 126° 8' E (1882—1883).

	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
T. min. moy	-1.7	-17.9	-30.7	-36.7	-39.6	-44.8	-37.0	-26.5	-13.4	-1.6	2.8	1.0
T. min. abs.	-12.3	-29.6	-36.3	-49.2	-47.8	-53.2	-41.6	-32.8	-24.2	-12.6	-0.2	-1.2
Jours de gelée	11	31	30	31	31	28	31	30	31	22	1	10
Vents [h = 5.6 m]	6.7	6.5	5.6	5.3	4.3	5.0	4.7	5.6	6.9	6.8	8.9	7.0

Table VIII.

Rousskoïe. Oustie. 71° 1' N, 149° 26' E, 9 m (1896, 1900—1903).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-41.1	-40.0	-35.7	-27.8	-12.1	1.1	5.2	1.0	-2.9	-18.1	-28.7	-37.1
T. min. abs. moy.	-49.7	-48.2	-44.3	-39.6	-25.4	-4.8	-0.3	-2.9	-10.7	-29.8	-38.7	-44.5
Jours de gelée	31	28	31	30	31	12.8	1.4	11.8	24.2	31	30	31
Vents [h = 5.6 m]	3.9	3.7	3.9	4.5	3.9	5.3	5.3	5.2	4.8	4.0	4.0	4.6

Table IX.

Oust-Iansk. 70° 55' N, 136° 27' E, 17 m (1901, 1902 et 1905, cette dernière année sans décembre).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-44.3	-38.2	-31.5	-25.4	-12.3	2.2	4.4	2.6	-3.3	-18.9	-33.4	-35.5
T. min. abs. moy.	-51.4	-48.4	-41.6	-35.0	-23.5	-4.9	0.1	-2.0	-12.2	-33.1	-42.4	-44.6
Jours de gelée	31	28	31	30	30.3	10.3	2.0	6.7	25.3	31	30	31
Vents [h = 8.3 m]	2.4	2.7	2.7	3.5	3.9	4.5	5.3	4.9	4.6	4.4	2.6	3.9

Table X.

Verkhöjansk. 67° 33' N, 133° 24' E, 100 m (1896, 1900 - 1903).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-53.1	-46.5	-37.0	-25.7	-5.9	6.1	8.0	4.1	-2.9	-19.8	-40.1	-50.4
T. min. abs. moy.	-59.7	-47.1	-51.5	-42.7	-22.0	0.5	0.2	-2.5	-11.3	-38.8	-51.9	-59.4
Jours de gelée	31	28	31	30	24.2	0.2	0.4	6.2	20.6	30.6	30	31
Vents [h = 9.6 m]	0.7	0.7	0.9	1.7	2.5	3.1	2.4	1.9	1.7	1.2	0.9	0.7

Table XI.

Skomvaer (Iles Lofoten) 67° 24' N, 11° 54' E, 16.5 m (1910—1919).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-1.0	-1.0	-0.7	0.6	3.4	6.1	8.8	9.4	6.7	3.7	1.6	-0.5
T. min. abs. moy.	-6.0	-5.6	-5.1	-4.7	-0.2	2.4	6.0	6.8	2.7	-0.8	-2.7	-5.6
Vents [E]	8.5	9.2	7.1	7.9	5.6	5.2	4.5	4.5	6.1	7.4	8.0	7.4

Table XII.

Tromsøe. 69° 39' N, 18° 58' E, 44.8 m (1910—1919).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-6.1	-7.3	-5.6	-3.0	1.0	5.3	8.2	7.2	3.9	-0.7	-2.9	-6.0
T. min. abs. moy.	-12.1	-13.2	-11.9	-9.9	-3.4	1.2	4.7	3.7	-0.3	-5.9	-8.5	-11.2
Vents [E]	2.8	2.8	2.4	2.3	2.1	2.6	2.3	1.9	2.3	2.5	2.7	2.5

**Table XIII.**

Skudenes. 59° 9' N, 5° 16' E, 3.6 m (1910—1919).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-0.5	0.3	0.1	2.9	6.6	9.4	11.4	12.0	9.3	6.3	2.6	1.4
T. min. abs. moy.	-6.3	-5.6	-3.9	-1.8	1.5	5.1	7.8	8.2	5.1	0.9	-2.0	-5.1
Jours de gelée	15.1	10.8	13.4	4.0	0.1	0	0	0	0	0.5	5.5	8.4
Vents [E]	7.7	7.8	6.8	6.9	5.9	6.7	5.9	6.2	6.4	7.2	7.7	8.1

**Table XIV.**

Bergen. 60° 24' N, 5° 19' E, 44. 6 m (1910—1919).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-1.9	-0.3	-0.2	2.5	6.4	9.2	11.4	11.5	8.1	4.8	1.8	0.5
T. min. abs. moy.	-7.6	-6.2	-4.7	-3.0	0.9	5.2	7.7	7.4	3.6	-0.3	-3.0	-5.8
Jours de gelée	17.8	12.8	13.9	4.7	0.3	0	0	0	0	1.9	9.0	12.0
Vents [E]	3.2	3.7	3.1	3.9	2.8	2.9	2.3	2.3	2.8	3.1	3.2	3.4

Table XV.

Hambourg. 53° 33' N, 9° 58' E, 26.0 m (1900—1901).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	-1.4	-1.2	0.9	3.7	8.1	11.9	13.5	12.7	10.4	7.0	2.2	-0.1
T. min. abs. moy.	-9.9	-7.4	-3.9	-0.8	2.7	7.6	9.5	8.6	5.8	0.9	-3.7	-8.1
Jours de gelée	16.1	16.7	11.7	1.8	0	0	0	0	0	0.9	8.1	13.6
Vents [h = 28 m]	6.1	5.6	5.3	5.4	4.7	4.6	4.5	4.9	4.5	4.9	5.3	5.4

Table XVI.

Thorshavn (Iles Féroé). 62° 02' N, 6° 45' W, 25.7 m (1905—1914, pour les vents: 1905—1909).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	0.8	0.3	0.7	2.1	4.1	6.7	8.1	7.8	6.9	4.8	1.0	1.2
T. min. abs. moy.	-5.7	-6.0	-5.7	-4.9	-0.8	2.0	4.5	3.4	1.7	-1.9	-3.7	-4.8
Jours de gelée	11.7	12.0	11.1	7.0	3.1	0	0	0	0	2.8	8.0	9.3
Vents [E]	7.8	7.0	5.9	6.2	5.3	4.1	4.4	4.5	4.9	5.3	6.4	6.6

Table XVII.

Port Stanley (Iles Falkland). 51° 41' S, 57° 51' W, 8 m (1881—1883, 1885—1886).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	5.6	5.8	4.4	2.1	1.7	0.4	0.1	-0.4	1.2	3.2	3.6	4.8
T. min. abs. moy.	-1.5	-0.5	-1.8	-4.5	-4.6	-11.2	-7.5	-7.9	-7.3	-2.1	-1.1	0.0
Vents [E]	6.2	6.5	6.5	5.3	5.1	5.1	5.7	6.2	7.0	8.0	7.5	6.7

Table XVIII.

Punta Arenas. 53° 10' S, 70° 54' W, 28 m (1888—1907<sup>1)</sup>).

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
T. min. moy.	6.1	6.5	5.3	4.1	1.8	0.7	0.8	1.3	1.7	3.1	4.3	5.9
T. min. abs. moy.	3.3	2.9	1.4	-0.2	-2.9	-4.9	-6.6	-4.3	-2.6	-0.8	0.5	2.1
Vents [h = ? m]	4.3	4.0	3.8	3.1	2.4	2.1	2.6	3.3	3.4	4.0	4.1	3.9

Table XIX.

Orange Bai (Cap Horn). 55° 31' S, 68° 5' W, 11.8 m (1882—1883<sup>2)</sup>).

	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
T. min. moy. <sup>1)</sup>	1.8	2.8	3.8	4.1	4.6	3.0	2.1	1.9	-0.1	0.5	0.3	—
T. min. abs.	-3.4	-0.2	0.9	0.3	0.9	0.0	-1.7	-1.5	-5.3	-5.3	-7.0	—
Vents [h = ? m]	5.5	7.4	7.5	9.2	7.8	6.6	5.9	5.9	5.6	6.0	5.9	—

1) Meteorologische Zeitschrift, XXVII (1910), 282.

2) Met. Ztschr. V (1889), 97—98.

it is evident that the coastal region of Norway in the district of Bergen has the same kind of climate and also the same kind of vegetation as the Falkland Islands<sup>1)</sup>.

La table XVII, empruntée à l'ouvrage de Mr Skottsberg (l. c. p. 81), montre très clairement la ressemblance entre le climat des îles Falkland et celui des îles Féroé.

Très importante pour la question qui nous occupe ici est la Terre-de-Feu, célèbre par ses forêts et par ses tempêtes. L'étude plus détaillée montre tout de suite que les forêts ne croissent ici que dans les endroits abrités des terribles vents venant du Sud et du Sud-Ouest. Ainsi à Punta Arenas qui se trouve dans le détroit de Magellan sur la rive de la Patagonie, en face de la rive Nord de la Terre-de-Feu, et qui est entouré d'épaisses forêts du hêtre antarctique (*Nothofagus pumilio*) on n'observe en hiver que des vents assez faibles (voir la table XVIII).

Il en est tout autrement sur les côtes Sud de la Terre-de-Feu. Les vents violents font périr ici toute végétation ligneuse quelque peu élevée. Tous les voyageurs, même ceux qui n'étaient point naturalistes, ont remarqué ce phénomène intéressant. Ainsi Pierre Loti dans ses mémoires<sup>2)</sup> écrit textuellement :

„Les côtes Sud de la Terre-de-Feu, balayées par les rafales de neige et les vents terribles du large, sont, elles, partout dénudées; et les îles les plus australes du groupe, celle entre autres qui renferme le cap Horn, n'offrent guère que des roches nues, abandonnées aux pingouins et aux phoques“.

Mr Skottsberg décrit plus exactement les relations qui existent ici entre les vents et la végétation :

„Der Regenwald nimmt hier (im magellanischen Gebiet), in geschlossener Form, eigentlich ein recht beschränktes Areal ein. Erstens geht er ja, wie bekannt, nur einige hundert Meter hoch, zweitens sind aber gar nicht alle unterhalb der Waldgrenze gelegenen Teile bewaldet, mit den dunkelgrünen Waldflecken wechseln die rotbraunen oder braungelben Moore, Waldmoore mit einem lichten, niemals geschlossenen Bestand von *Libocedrus* oder fast baumlose Heidenmoore, wo *Marsippospermum grandiflorum* führend ist. Soweit ich finden konnte, entscheidet in erster Linie der Wind, hier wegen seiner Stärke und Frequenz ein sehr wichtiger Klimafaktor, über die Ver-

<sup>1)</sup> Botanische Ergebnisse der schwedischen Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande. III. — Kungl. Svenska Vetenskapsakademien Handlingar. Bd. 50, Nr. 3, 1913, pp. 85—86.

<sup>2)</sup> Un jeune officier pauvre. Paris (1923) p. 24.

teilung der Pflanzenvereine. Er schafft in Westpatagonien und Feuerland eine maritime Waldgrenze, ausserhalb deren die maritime (oceanische) Heide als Polsterheide entwickelt ist. Innerhalb der natürlich nicht scharf gezogenen Linie machte ich, besonders im westlichen Teil der Magellanstrasse und in West-Skyring, die Beobachtung, dass der geschlossene Regenwald Windschutz sucht. Er umsäumt die kleinen Häfen, er füllt die Täler und Ravinen aus, benutzt jeden kleinen Absatz auf den Felswäldern, wo er nur etwas Lee findet, sonst dehnen sich aber die Moorrwälder und Heide über das Terrain aus“<sup>1)</sup>.

Naturellement, ce n'est pas le vent seul qui agit ici si fortement sur la végétation arborescente, il est accompagné de gelées qui arrivent régulièrement pendant la majeure partie de l'année. On le voit bien dans la table XIX qui résume les observations exécutées près du cap Horn par la Mission Scientifique Française depuis le mois d'octobre 1882 jusqu'au mois d'août 1883. Nous n'avons pas d'observations plus complètes de ces pays inhospitaliers.

On voit de tout ce qui précède que notre hypothèse concernant l'action des vents sur la végétation arborescente se trouve en parfaite conformité avec les faits phytogéographiques. Les vents glacials suffisamment forts sont hostiles à la végétation arborescente: toute région où leur vitesse, mesurée à une hauteur de 10 mètres environ au-dessus du sol, s'élève en moyenne à 6 m/sec, est fatalement dépourvue de la végétation arborescente. L'action des vents glacials suffit seule pour expliquer l'absence des arbres partout, où ils font défaut dans les régions ayant de fréquentes gelées.

Institut de Botanique de l'Université Jagellonienne à Cracovie.

(Wpłynęło do redakcji 16 marca 1924).

---

<sup>1)</sup> L'ouvrage cité. Partie V. — Kungl. Svenska Vet. Handl. Bd. 56. Nr. 5, 1916, p. 46—47.