

Sur l'importance du déficit hygrométrique pour la phytogéographie écologique.

Par

DEZYDERY SZYMKIEWICZ.

L'humidité de l'air constitue un facteur écologique de première importance, car l'intensité de la transpiration dépend avant tout de ce facteur. Il est évident que l'humidité de l'air doit être caractérisée par une quantité proportionnelle à l'intensité de transpiration. On peut facilement trouver une quantité appropriée à ce but. Il suffit pour cela d'appliquer la loi physique d'après laquelle la vitesse d'évaporation est proportionnelle à la différence entre la tension de vapeur près de la surface évaporante et la tension de vapeur dans l'air ambiant. Étant donné que la température des plantes ne diffère pas sensiblement de celle de l'air, on peut admettre que la tension de vapeur d'eau près de la surface évaporante des plantes est égale à la tension de vapeur saturée à la température de l'air. En soustrayant la tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère de la tension de vapeur saturée, on obtient la quantité qu'on a cherchée. Cette quantité s'appelle, comme on sait, „le déficit hygrométrique“ („niedosyt wilgotności“ en polonais, „vapor tension deficit“ en anglais et „Sättigungsdefizit“ en allemand). Elle est connue depuis longtemps en météorologie. Mais ce n'est que depuis peu de temps, qu'on a commencé à s'en occuper en phytogéographie écologique¹⁾ et il semble qu'on ne lui accorde pas encore toute importance qu'elle mérite. Par conséquent, il serait utile de considérer de plus près le rôle

¹⁾ Cfr. Livingston, B. E. and Shreve, F. The distribution of vegetation in the United States, as related to climatic conditions. — Washington (1921) 287—288.

que cette quantité peut jouer dans la phytogéographie écologique.

Avant tout il faut constater que le déficit hygrométrique caractérise l'humidité de l'air mieux que ne le fait la vitesse d'évaporation mesurée directement au moyen d'un évaporimètre et cela pour trois raisons. Premièrement, les résultats fournis par les évaporimètres dépendent non seulement de l'humidité de l'air, mais aussi de la pression atmosphérique, de la vitesse du vent et de l'insolation. Deuxièmement, les évaporimètres ne donnent que les valeurs moyennes correspondant à un certain temps assez long. Au contraire, on peut mesurer facilement les variations du déficit hygrométrique toutes les cinq minutes et même plus fréquemment encore. Troisièmement, les indications des évaporimètres souvent ne sont pas comparables entre elles et ne sont pas comparables non plus avec l'intensité de la transpiration. Ce point exige d'être expliqué de plus près.

Les recherches de Stefan¹⁾ ont montré que la quantité d'un liquide évaporé n'est proportionnelle à la grandeur de la surface évaporante que quand l'air est en mouvement. Dans l'air calme cette quantité est proportionnelle aux dimensions linéaires de la surface. Soient, par exemple, deux évaporimètres dont le premier est deux fois plus grand que le second. Les deux appareils étant exposés au vent, le premier évaporera quatre fois plus d'eau que le second. Au contraire, dans l'air calme le premier perdra deux fois plus d'eau que le second. Par conséquent, on ne peut comparer les indications de deux évaporimètres de dimensions différentes que quand l'air est tout le temps calme ou tout le temps mouvementé. Ces indications ne sont pas comparables, quand les coups de vent succèdent aux accalmies. Heureusement, à l'air libre les périodes de calme sont rares et de courte durée et, par suite, les indications des évaporimètres ne perdent pas toute leur valeur. On le voit très bien, en comparant les indications d'un évaporimètre avec les valeurs du déficit hygrométrique. Comme exemple, on peut utiliser les observations exécutées par Wild à l'Observatoire Physique Central Nicolas de St. Pétersbourg en 1872 et 1873²⁾.

¹⁾ Stefan, I. Ueber die Verdampfung aus einem kreisförmigen oder elliptisch begrenzten Becken. — Sitzungsber. Akad. Wien LXXXIII. 2 (1881). 943—952.

²⁾ Wild, H. Ueber einen einfachen Verdunstungsmesser für Sommer und Winter. — Bull. Acad. Sc. St. Pétersbourg. XIX (1874). 440—445.

1872

Mois	Évaporation en mm par jour	Température	Humidité relative	Déficit hygrométrique en mm
Janvier . .	0.15	— 4.5	91	0.30
Février . .	0.12	—10.0	87	0.28
Mars . . .	0.37	— 3.9	83	0.58
Avril . . .	0.68	4.2	82	1.11
Mai	1.55	12.2	75	2.64
Juin	2.83	17.6	63	5.53
Juillet . . .	2.49	17.5	72	4.16
Août	1.57	16.8	78	3.13
Septembre .	1.01	10.1	84	1.47
Octobre . .	0.58	6.7	86	1.02
Novembre .	0.27	1.1	92	0.40
Décembre .	0.18	— 4.9	92	0.29

1873

Mois	Évaporation en mm par jour	Température	Humidité relative	Déficit hygrométrique en mm
Janvier . .	0.17	— 5.7	88	0.36
Février . .	0.18	— 9.8	87	0.28
Mars . . .	0.33	— 4.4	82	0.60
Avril . . .	0.61	— 0.9	75	1.08
Mai	0.88	7.4	80	1.43
Juin	2.06	17.0	71	4.17
Juillet . . .	2.58	18.7	71	4.65
Août	1.55	15.7	79	2.78
Septembre .	1.05	12.2	81	2.02
Octobre . .	0.78	6.4	84	1.15
Novembre .	0.27	— 2.4	85	0.48
Décembre .	0.28	— 4.6	87	0.42

Sur les fig. 1 et 2 j'ai représenté graphiquement les résultats de ces observations, à savoir: l'évaporation (e), le déficit hygrométrique (d)

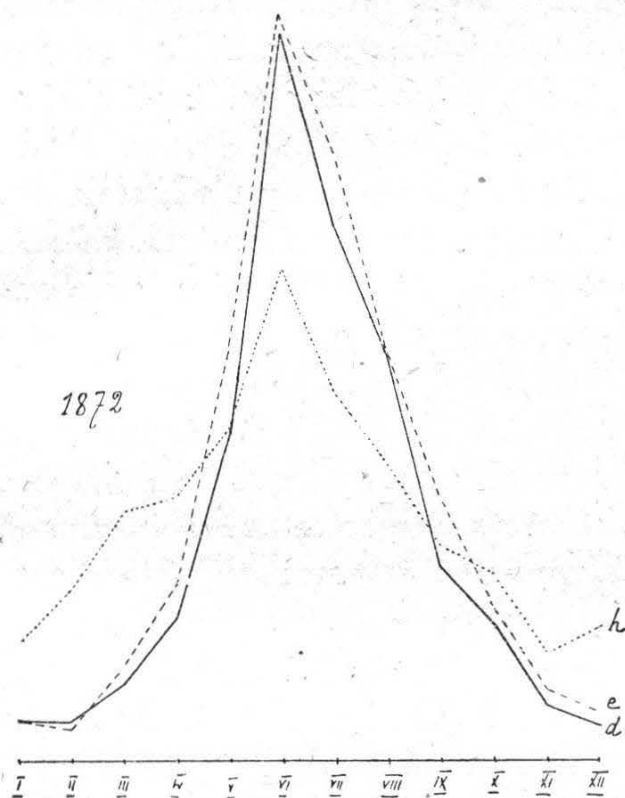


Fig. 1

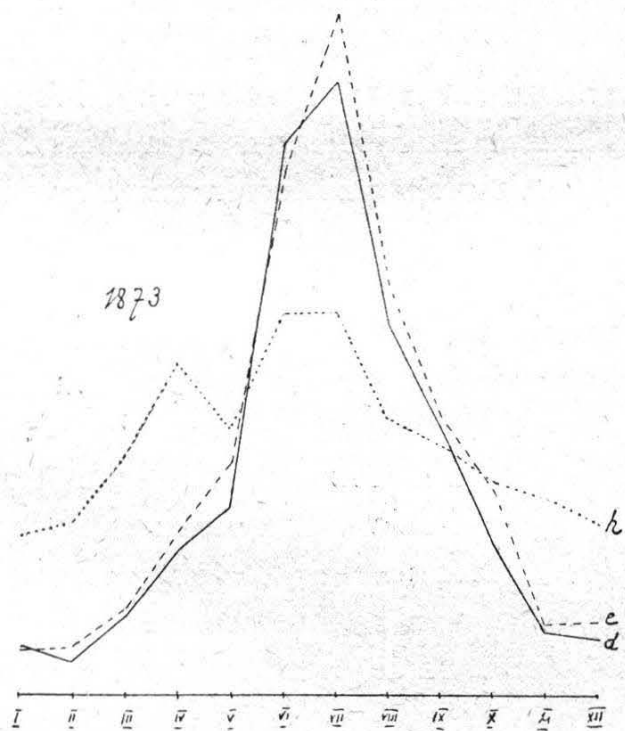


Fig. 2

et le complément de l'humidité relative à cent (h). On y voit un accord suffisamment exact entre la vitesse d'évaporation et le déficit

hygrométrique et en même temps un rapport mal défini entre ces deux quantités et le complément de l'humidité relative.

Il faut encore envisager les rapports qui existent entre les indications des évaporimètres et l'intensité de la transpiration.

Quand on a à faire avec les plantes inférieures (champignons, mousses etc.), la transpiration s'effectue de la même manière que l'évaporation d'un évaporimètre, parce que ces plantes évaporent de leur surface extérieure. Les plantes supérieures (pteridophytes, phanérogames) se comportent autrement. Comme on le sait, la transpiration de ces plantes s'effectue principalement par la surface intérieure, dans les espaces intercellulaires, d'où la vapeur sort par les stomates. C'est ce qu'on appelle la transpiration stomataire. En outre ces plantes transpirent aussi par leur surface extérieure, mais à cause de la cutinisation des parois externes cette transpiration-ci, dite cuticulaire, est très faible. La quantité de vapeur qui passe par un seul stomate est proportionnelle aux dimensions linéaires de son orifice dans l'air calme et à la surface de cet orifice dans l'air mouvementé. Mais comme le nombre, la disposition et les dimensions des stomates ne dépendent pas des mouvements de l'air, la transpiration stomataire est toujours proportionnelle à la surface de la feuille. Au contraire, la transpiration cuticulaire varie sous l'action du vent de la même manière que l'évaporation d'un évaporimètre. En somme, puisque la transpiration stomataire dépasse de beaucoup la transpiration cuticulaire, on peut admettre que la transpiration des plantes supérieures est proportionnelle à leur surface aussi bien dans l'air calme que dans l'air mouvementé. Il s'ensuit que les indications des évaporimètres ne sont comparables avec la transpiration des plantes supérieures qu'en l'air mouvementé.

La grande importance du déficit hygrométrique pour la phytogéographie écologique consiste en ce qu'on peut, en partant de ce déficit, évaluer approximativement la quantité d'eau que les plantes perdent par la transpiration. Ces évaluations ne sont qu'approximatives, parce que la transpiration dépend aussi des facteurs autres que l'humidité de l'air. Néanmoins, on obtient ainsi des informations très précieuses sur les conditions de vie des végétaux dans les différentes régions. J'essaierai de le montrer par quelques exemples.

Il faut constater d'abord que l'évaluation de la quantité d'eau que perdent les végétaux s'effectue d'une manière différente pour les plantes inférieures ou supérieures. Le mécanisme de transpiration des plantes inférieures ne change pas le jour ni la nuit. Par suite, on doit évaluer la quantité d'eau évaporée pendant vingt-quatre

heures en se basant sur la valeur du déficit hygrométrique moyenne pour ce laps de temps. Au contraire, les plantes supérieures qui ferment leurs stomates le soir et les rouvrent le matin transpirent d'une manière différente la nuit que le jour. Naturellement, à cause de la fermeture des stomates la transpiration nocturne est beaucoup plus faible que la transpiration diurne même dans l'air d'une humidité invariable. Comme en outre le déficit hygrométrique est minime pendant la nuit, les plantes supérieures ne perdent la nuit que très peu d'eau en comparaison avec le jour. Il s'ensuit que pour évaluer la quantité d'eau perdue par les plantes supérieures pendant vingt-quatre heures, il faut se baser sur la valeur du déficit hygrométrique qui a lieu au milieu de la journée, quand les stomates sont le plus largement ouverts et le déficit hygrométrique est le plus fort. Les observations météorologiques étant effectuées le plus souvent à 9^h, 13^h (ou à 14^h) et 21^h, le second terme convient le mieux à ce but. On le voit très bien sur la table ci-dessous qui représente la marche du déficit hygrométrique au mois de juin 1901 à Pavlovsk (59° 41' N, 30° 29' E, 39.8 m)¹).

1 ^h	2 ^h	3 ^h	4 ^h	5 ^h	6 ^h
0.3	0.5	0.4	0.6	1.2	2.1
7 ^h	8 ^h	9 ^h	10 ^h	11 ^h	12 ^h
3.3	4.9	6.1	6.5	7.2	7.6
13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h
8.6	8.6	8.5	8.2	7.7	6.4
19 ^h	20 ^h	21 ^h	22 ^h	23 ^h	24 ^h
5.2	3.8	2.3	1.4	0.8	0.5

Dans la suite nous ne prendrons en considération que les plantes supérieures et, par conséquent, nous nous baserons toujours sur les observations exécutées à 13^h ou 14^h, exceptionnellement sur celles de 12^h.

La quantité d'eau évaporée par la plante constitue un important facteur écologique. Ce qui a le plus d'importance, c'est naturellement le maximum de ce facteur. On se trouve ainsi amené à considérer

¹) Annales de l'Observatoire Physique Central Nicolas. Année 1901.

la marche annuelle du déficit hygrométrique. D'une manière générale ce déficit augmente avec l'élevation de la température et son maximum en Europe tombe le plus souvent au mois de juin, juillet ou août, rarement au mois de mai. (cfr. les figures 1 et 2). Nous appellerons le plus sec le mois pour lequel la moyenne du déficit hygrométrique est la plus grande.

On trouve le déficit hygrométrique le plus faible dans les pays polaires, par exemple pendant la période 1895—1904 le mois le plus sec avait à 13^h le déficit suivant:

- à Teriberka (69° 8' N, 35° 28' E, 6.5 m) 3.4 mm
- à Kola (68° 53' N, 33° 1' E, 8 m) 4.3 mm
- à Archangelsk (64° 33' N, 40° 32' E, 6.7 m) . 5.3 mm¹⁾.

On ne trouve les valeurs semblables que dans les montagnes, où le déficit hygrométrique diminue rapidement avec l'augmentation de l'altitude. Par exemple, le mois le plus sec de la même période 1895—1904 avait à 14^h le déficit:

- à Eichberg (50° 55' N, 15° 48' E, 349.3 m) . . 7.8 mm
- à Wang (50° 47' N, 15° 43' E, 873 m) 4.6 mm
- à Schneekoppe (50° 44' N, 15° 44' E, 1603 m) 1.7 mm.

Ces trois localités sont situées dans les Sudètes à une petite distance l'une de l'autre²⁾.

Ainsi, contrairement à l'opinion consacrée, on doit considérer l'air des montagnes comme très humide. De même les pays polaires ont l'air humide et la ressemblance entre la végétation polaire et alpine provient sans doute de l'égale humidité de l'air.

Comme l'élevation de la température de l'air provoque l'augmentation du déficit hygrométrique, ce facteur prend forcément des valeurs assez élevées dans les pays chauds, même dans ceux qui sont considérés comme très humides. Par exemple, à Port-au-Prince dans l'île Haïti (18° 34' N, 72° 20' W, 37 m) pendant la période 1895—1904 le déficit hygrométrique à 13^h était de 20.4 mm dans le mois le plus sec et de 11.7 mm dans le mois le plus humide³⁾.

A Buitenzorg (Java) en 1900 la moyenne mensuelle du déficit hygrométrique mesurée à 12^h était comprise entre 12.5 et 7.8 mm⁴⁾.

1) Annales de l'Observatoire Physique Central Nicolas. Années 1895—1904.

2) Deutsches Meteorologisches Jahrbuch. Jahrgänge 1895—1904.

3) Jahrbücher der k. k. Zentral-Anstalt für Meteorologie und Geodynamik. Wien. Jahrgänge 1895—1904.

4) Meteorologische Zeitschrift. XXIX (1912). 490.

Naturellement l'air est le plus humide sur les petites îles océaniques, par exemple à Samoa ($13^{\circ} 48' S$, $171^{\circ} 46' W$, 2 m), où pendant la période 1913—15 le déficit hygrométrique mesuré à 14^h était de 8.3 mm pour le mois le plus sec et de 4.3 mm pour le mois le plus humide¹). Toutes les valeurs citées dans le présent mémoire proviennent des observations météorologiques officielles et se rapportent, par conséquent, aux couches de l'atmosphère situées à 2 mètres environ au-dessus du sol. Il n'est pas douteux que l'air est beaucoup plus humide dans les couches plus basses, surtout au fond des forêts et des vallées.

On trouve le déficit hygrométrique le plus élevé dans les pays chauds et secs. Par exemple, à Hilleh en Mésopotamie, sur l'emplacement de l'ancienne Babylone ($32^{\circ} 30' N$, $44^{\circ} 20' E$, 30 m.), pendant la période 1908—1910 le déficit hygrométrique à 14^h pour le mois le plus sec était de 59.3 mm²).

Il est évident que le déficit hygrométrique trop élevé ne permet pas à certaines plantes de croître dans une région donnée. On le voit très nettement en Pologne et en Russie, où l'épicéa, le sapin et le mélèze évitent les régions dans lesquelles le déficit du mois le plus sec dépasse 10.0 mm (voir les fig. 3 et 4).

Il en est de même avec le *Pinus Cembra*. Les stations de cet arbre ne sont pas marquées sur la carte de la Pologne (fig. 3), parce qu'en ce pays il ne se rencontre que dans les montagnes. Les deux cartes représentent la distribution des arbres et du déficit hygrométrique exclusivement dans la plaine. On voit en outre sur la carte de Russie (fig. 4) que les forêts en général évitent les régions ayant plus de 15.0 mm de déficit.

Les valeurs du déficit hygrométrique qu'on voit sur ces cartes ont été calculées d'après les publications officielles des réseaux météorologiques russe, autrichien et prussien de la manière suivante. J'ai pris les observations effectuées à 13^h dans le réseau russe, à 14^h dans les réseaux autrichien et prussien et j'ai calculé le déficit hygrométrique pour le mois le plus sec de chaque année. J'ai calculé ensuite la moyenne de ces valeurs pour la période 1895—1904. D'une manière semblable ont été calculées les valeurs du déficit citées plus haut. Pour les stations où il y avait des lacunes j'ai effectué la réduction à la même période par la comparaison avec les stations les plus proches dont les observations sont complètes. Je n'ai pris en con-

¹) Meteorologische Zeitschrift. XXXVII (1920). 262—263.

²) Meteorologische Zeitschrift. XXIX (1912). 30—31.

sidération que les séries d'observations de cinq ans au moins. Les limites de repartition des arbres en Pologne ont été tracées d'après les travaux de Raciborski et Szafer¹⁾, en Russie d'après Köppen²⁾

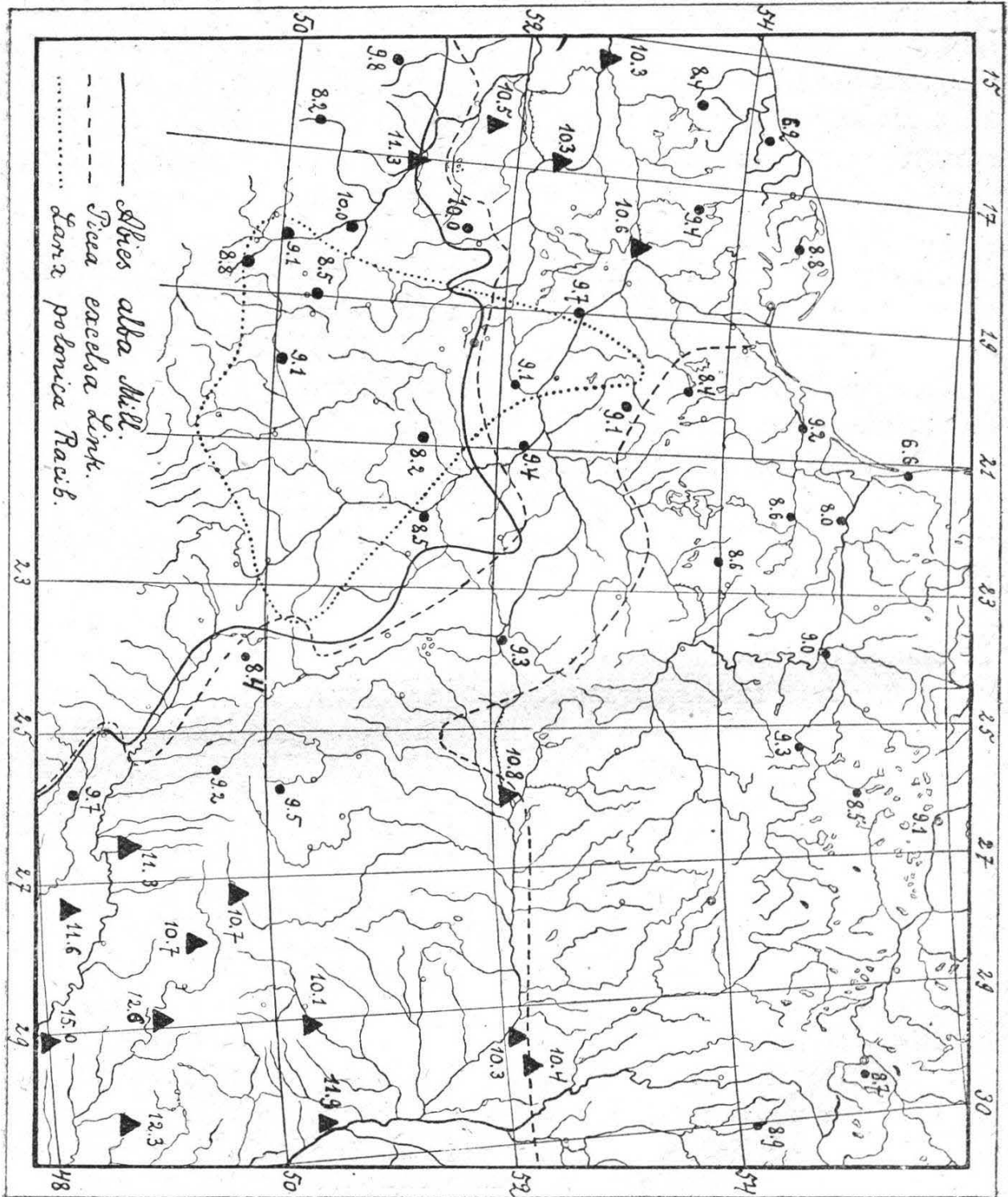


Fig. 3

¹⁾ Raciborski, M. et Szafer, W. La flore de Pologne. Cracovie. I (1919) (En polonais).

Szafer, W. Sur la distribution géographique de l'épicéa en Pologne. — „Sylvan“. Léopol. 1921. (En polonais).

²⁾ Köppen, F. Th. Geographische Verbreitung der Holzgewächse des europäischen Russlands und des Kaukasus. St. Petersburg. II (1889).

et Korshinsky¹). La limite méridionale des forêts en Russie a été tracée d'après Tanfilieff²).

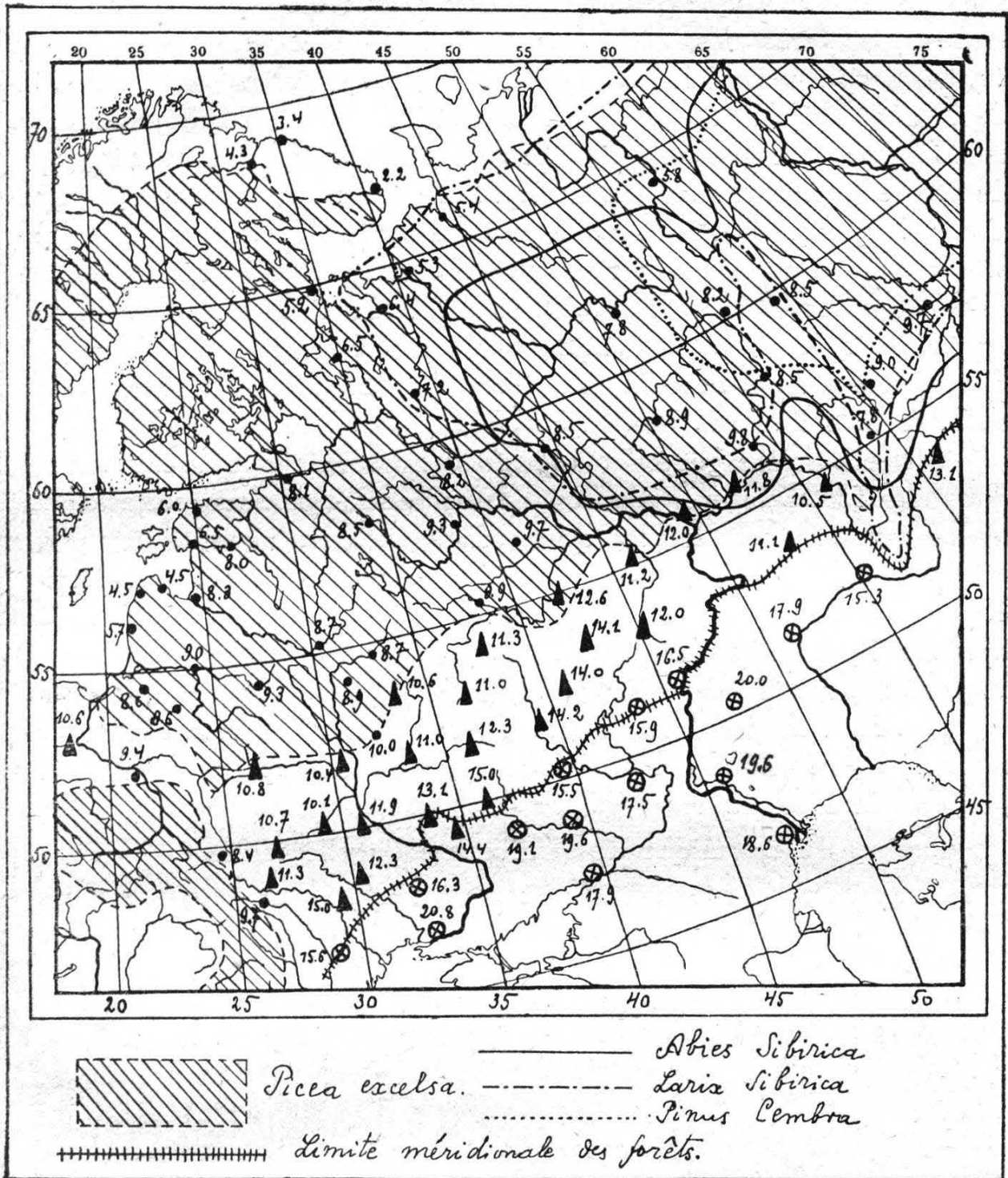


Fig. 4

On voit sur les cartes jointes à ce travail certains points qui ont un déficit hygrométrique plus élevé que ne l'exige la théorie, par

¹) Korshinsky, S. Tentamen Florae Rossiae Orientalis. — Mémoires Acad. Sc. St.-Petersbourg. VIII série. Vol. VII (1898).

²) Tanfilieff, G. Les régions physiographiques de la Russie d'Europe. St. Pétersbourg (1897). (En russe).

exemple: Breslau (51° 7' N, 17° 2' E, 147.0 m), Elatma (54° 58' N, 41° 45' E, 140 m), Saratoff (51° 32' N, 46° 3' E, 61.2 m). Ceci provient sans doute de ce que les instruments météorologiques ont été installés trop près des bâtiments. Je m'appuie ici sur les faits suivants. Les observations effectuées à Odessa entre les bâtiments de l'Université (46° 29' N, 39° 44' E, 65.3 m) donnent pour le mois le plus sec dans la période 1895–1904 le déficit hygrométrique de 13^h égal à 15.2 mm, tandis qu'à l'Observatoire Météorologique situé à quelques kilomètres hors la ville (46° 26' N, 30° 46' E, 42.8 m) on a noté un déficit de 11,6 mm¹⁾. De même à Moscou dans l'Institut d'Arpentage (55° 46' N, 37° 40' E, 164.2 m) le déficit hygrométrique était de 11.3 mm, tandis que dans l'Institut d'Agriculture situé hors la ville (55° 50' N, 37° 33' E, 165.7 m) il ne s'élevait qu'à 9.9 mm.

D'une manière générale, le déficit hygrométrique est influencé dans une forte mesure par les causes locales et pour cette raison les observations météorologiques officielles sont insuffisantes pour la phytogéographie écologique. Les observations spéciales doivent être organisées à ce but. Ces observations doivent être effectuées hors les villes dans les points bien choisis et dans les associations végétales bien déterminées.

Les faits rapportés dans le présent mémoire montrent très clairement la grande importance du déficit hygrométrique pour la phytogéographie écologique.

Institut de Botanique de l'Université Jagellonienne à Cracovie.
(Wpłynęło do redakcji 15 listopada 1922).

1) L'Observatoire est plus éloigné de la mer que l'Université.