DEZYDERY SZYMKIEWICZ.

Laboratoire de botanique de la Faculté Agr.
et Forest. de l'École Polytechnique de Lwów.

ÉTUDES CLIMATOLOGIQUES.

(entrée 12.III. 1936).

XXV. SUR LE CLIMAT DES ÉPIPHYTES VASCULAIRES.

Les plantes vasculaires épiphytes sont cantonnées, comme on le sait, dans les pays dont le climat est à la fois chaud et humide. Il est intéressant d'étudier leurs relations avec ce climat.

Commençons par les conditions thermiques. Les épiphytes n'ont pas besoin d'une chaleur intense, car ils abondent dans la Terre de Feu malgré son climat plutôt froid. Mais ils craignent les gelées. Ceci s'explique facilement: ils accusent la pression osmotique la plus basse qu'on connaisse chez les végétaux. Les mesures de Harris et Lawrence¹⁾, exécutées à Jamaïque ont donné 3.37 *atm.* en moyenne pour les *Orchidées*, 3.96 pour les *Bromeliacées* et 4.23 pour les *Piperacées*. Seule *Tillandsia usneoides*, la fameuse plante sans racines, a donné 9.0 *atm.* Même les plantes marécageuses ont une pression osmotique plus élevée: j'ai trouvé par exemple²⁾: 8.3 *atm.* pour *Bidens cernuus*, 10.1 pour *Carex*

¹⁾ Harris J. A. and Lawrence J. W. The osmotic concentration of the tissue fluids of Jamaican montane rain forest vegetation. — Amer. Journ. Bot. 4 (1917) 268—298.

Harris J. A. On the osmotic concentration of the tissue fluids of phanerogamic epiphytes. — l. c. 5 (1918) 490—506.

²⁾ Szymkiewicz D. Recherches écologiques. V. La pression osmotique des plantes des prairies. — Kosmos. Série A. 1933.

pseudo-cyperus, 13.3 pour *Lythrum salicaria*, 17.4 pour *Phragmites communis*. Etant donné qu'une forte pression osmotique constitue la principale défense contre la congélation, il n'est pas étonnant que les épiphytes fuient les régions où la température s'abaisse régulièrement au-dessous de zéro.

Passons ensuite à l'humidité du climat. Est-il constant que le climat où croissent les épiphytes vasculaires est humide? Il est humide sans conteste, mais il ne l'est que partiellement. Les précipitations, d'abord, sont très abondantes, mais leur durée n'est pas plus longue que dans les pays tempérés¹⁾. Ainsi leur durée est de

324 heures par an à Batavia	
660 " " " " Buitenzorg	
744 " " " " Tjibodas	
870 " " " " Potsdam	
585 " " " " Vienne	
580 " " " " Paris	

Pour les épiphytes cette durée est d'une importance capitale, car ils ne profitent de la pluie que tant qu'elle tombe. Mais on a dans les pays tropicaux des choses bien pires: le pouvoir évaporatoire de l'air est élevé. On peut le voir dans la table I, où j'ai comparé Buitenzorg et Cracovie. L'indice d'évaporation est beaucoup plus élevé à Buitenzorg qu'à Cracovie: les maxima en moyenne annuelle sont plus que doubles dans la première localité par rapport à la seconde.

Ainsi les végétaux sont dans les pays tropicaux menacés de dessication dans une mesure plus forte que dans les pays tempérés. Comment donc peuvent les épiphytes conserver le bilan d'eau favorable, tout en étant suspendus en l'air, sans connexion avec les réserves d'eau du sol? Or, ceci n'est possible que grâce à la rosée qui est particulièrement abondante dans les pays tropicaux. En effet, tous les observateurs insistent sur ce point. Par exemple Holtermann²⁾ dit que

¹⁾ Szymkiewicz D. Études climatologiques. XV. Remarques sur le climat des pays humides tropicaux. — Acta soc. Bot. Pol. 6 (1929). 96—98.

²⁾ Holtermann C. Der Einfluss des Klimas auf den Bau der Pflanzengewebe. — Leipzig (1907) p. 152.

TABLE I.
Maxima moyens de l'indice d'évaporation en mm Hg.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Période
Buitenzorg	12,9	11,9	14,1	14,4	14,5	15,1	15,9	18,8	17,0	15,6	14,6	13,2	1903—1912
Cracovie	1,0	1,7	3,5	5,5	8,6	11,0	11,9	11,0	8,0	4,4	1,7	1,1	1895—1904

TABLE II.

Localité	Fonction	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Période
Buitenzorg	Tension de vapeur	18,96	19,49	19,61	20,03	20,48	19,72	19,12	18,74	19,22	18,84	18,98	18,67	1915
	Durée de la nuit	11,65	11,80	11,97	12,15	12,30	12,38	12,35	12,22	12,05	11,87	11,71	11,62	
	Produit	221	230	235	243	252	244	236	229	232	224	222	217	
Cracovie	Tension de vapeur	3,52	3,70	4,50	6,00	8,22	10,36	11,74	11,07	9,07	6,94	4,92	3,79	1895—1904
	Durée de la nuit	15,70	14,14	12,34	10,41	8,79	7,94	8,25	9,68	11,52	13,37	14,90	16,21	
	Produit	55	52	56	62	72	82	97	107	104	93	73	61	

le matin la végétation à Ceylan est tellement trempée, comme si une forte pluie venait de tomber.

Malheureusement, il est difficile de préciser la question: les mesures directes de la rosée sont rares et incertaines. Je vais le faire d'une façon indirecte. Etant donné que la rosée provient de la condensation de la vapeur d'eau de l'atmosphère, son intensité doit être proportionnelle à la tension de vapeur et à la durée du processus de la condensation. On peut donc admettre que l'abondance de la rosée dépend du produit de la tension de vapeur par la durée de la nuit. Or, la tension de vapeur dans les pays tropicaux est forte et les nuits durent près de 12 heures pendant toute l'année. Dans les pays tempérés la tension de vapeur est relativement faible et varie en relation inverse par rapport à la durée de la nuit. On obtient, par suite, pour les pays tropicaux le produit de la tension de vapeur par la durée de la nuit plus que double de celui pour les pays tempérés.

Comme exemple, nous allons comparer Buitenzorg à Cracovie. Nous prendrons pour la tension de vapeur nocturne à Buitenzorg la moyenne des valeurs pour les heures 18, 20, 24, 2, 4 et 6. On n'a pas d'informations si détaillées pour Cracovie: il faut se contenter des valeurs pour les heures 21 et 7. J'ai calculé la durée du jour au moyen de la formule

$$\text{arc cos } (-\text{tang } \varphi \text{ tang } D)$$

où φ est la latitude et D est la déclinaison du soleil. Les calculs ont été faits pour le quinzième jour de chaque mois. Je remercie beaucoup M. Adolf Nowak de m'avoir aidé dans cette tâche. Les résultats sont réunis dans la table II.

On voit que l'abondance de la rosée varie à Buitenzorg entre les limites 217 et 252 et à Cracovie entre 52 et 104. Ainsi les épiphytes peuvent ramasser le matin une provision d'eau suffisante pour résister au fort pouvoir évaporatoire de l'air pendant le jour. Le tissu aquifère qui est fortement développé dans ces plantes permet de le faire facilement.

XXVI. SUR LE CLIMAT D'IAKOUTSK.

La région d'Iakoutsk est célèbre par son climat rigoureux. Malgré cela elle est couverte des forêts, avec des inclusions des steppes d'ailleurs. Ce qui est surtout intéressant, c'est

que d'après Nedokoutschaïeff¹⁾ les melons mûrissent dans ce pays à l'air libre. Par suite, il est important pour l'écologie végétale d'étudier de plus près le climat de la région en question. Nous prendrons Iakoutsk comme type.

J'ai réuni dans les tables III et IV les données climatologiques concernant Iakoutsk et, pour comparaison, les données correspondantes pour Cracovie où, malgré le climat beaucoup moins rigoureux, les melons ne mûrissent pas à l'air libre. Outre les facteurs climatologiques habituels, j'y ai mis quelques facteurs dont on ne tient pas généralement compte, à savoir: la durée du jour, la distance zénitale du soleil, la fraction du rayonnement direct du soleil tombant sur le plan horizontal et la proportion du rayonnement total du soleil par rapport au rayonnement au temps clair. La fraction du rayonnement direct tombant sur le plan horizontal est mesurée, comme on le sait, par le cosinus de la distance zénitale du soleil. La proportion du rayonnement total par rapport à celui du temps clair a été calculée en pourcent d'après la proposition de M. A. Angström²⁾ au moyen de la formule:

$$I = I_0 \left[25 + 75 \left(1 - \frac{N}{10} \right) \right]$$

où I est l'intensité du rayonnement au temps clair et N — la nébulosité pendant le jour. J'ai calculé cette nébulosité au moyen de la formule:

$$N = \frac{n_7 + 2n_{13} + n_{21}}{4} \quad \text{ou} \quad N = \frac{n_7 + 2n_{14} + n_{21}}{4}$$

où les indices se rapportent aux heures d'observations. La nébulosité nocturne dont l'action sur les végétaux est différente est calculée séparément au moyen de la formule:

$$\frac{n_7 + n_{21}}{2}$$

¹⁾ Nedokoutschaïeff N. Les sols et l'état de l'agriculture, de la culture des prairies et du jardinage dans la République des Iakoutes. — Leningrad. Académie des Sciences. 1932, p. 60 (en russe).

²⁾ Angström A. Ueber den Zusammenhang zwischen Strahlung und Sonnenscheindauer. — Bioklimatische Beiblätter. 1934, 6—10.

TABLE III.
Iakoutsk 62°01' N, 192°43' E, 400 m. (1895-1904).

Facteurs	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Durée du jour (heures)	5,7	8,5	11,4	14,5	17,3	19,2	18,4	15,8	12,8	9,9	6,8	4,8
Distance zénitale du soleil	85,4	75,1	64,3	52,4	43,2	38,7	40,4	47,8	58,8	70,4	80,4	85,3
Rayonnement direct (°/o)	11,5	25,6	43,4	61,0	72,9	78,0	76,1	67,1	51,8	33,5	16,6	8,3
Température moyenne	-44,18	-34,38	-22,12	-8,16	5,68	16,22	19,49	16,00	6,54	-7,98	-26,89	-39,60
Vitesse des réactions	0,02	0,04	0,13	0,47	1,68	4,42	5,96	4,33	1,82	0,48	0,09	0,03
Température à 13 h	-43,4	-32,1	-18,1	-4,2	8,9	19,2	22,8	19,7	10,1	-5,9	-25,6	-35,3
Jours à temp. de 13 h $\leq$ 0	31	28	30,7	22,9	2,5	0	0	0	0,9	23,2	29,9	31
Temp. min. moyenne	-47,8	-39,5	-29,2	-15,5	-0,85	8,42	11,9	9,2	1,21	-11,94	-31,2	-43,3
Temp. min. absol. moyenne	-55,6	-49,5	-41,6	-28,0	-9,7	3,7	7,1	3,4	-5,6	-23,7	-42,9	-52,6
Jours à temp. min $\leq$ 0	31	28	31	29,6	16,0	0,6	0	0,8	11,3	30,8	30	31
Pression barométrique (700 +)	59,8	59,7	55,6	50,0	48,1	48,1	46,0	47,3	50,8	52,8	53,7	57,8
Tension de vapeur à 13 h	0,1	0,4	0,8	2,0	4,3	8,6	11,0	11,0	5,9	2,6	0,6	0,2
Indice d'évaporation à 13 h	0,1	0,1	0,1	1,2	4,6	9,0	11,0	8,0	3,6	0,2	0,1	0,1
Nébulosité diurne	5,67	5,42	3,75	5,52	5,24	5,66	5,43	5,33	6,01	7,29	6,61	6,23
Rayonnement total (°/o)	57	59	72	59	60	58	59	60	55	45	50	53
Nébulosité nocturne	5,7	5,9	3,7	5,0	5,2	5,1	5,0	5,0	5,5	6,9	6,4	6,0
Vent (m/sec) à 13 h	0,9	1,0	1,4	2,0	2,3	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,1	0,8
Somme des précipitations (mm)	5,9	4,7	1,9	8,8	11,4	25,3	24,0	34,7	24,5	11,1	9,6	7,2
Précipit. journ. max. moy. (mm)	2,5	2,5	1,0	6,2	3,7	8,6	11,6	11,7	8,0	3,8	2,9	3,8
Jours de précipitations	5,0	5,4	3,5	4,7	5,0	7,7	7,8	8,1	9,0	9,8	11,0	7,2
Jours de neige	5,0	5,4	3,5	4,7	1,8	0	0	0,1	3,0	9,3	11,0	7,2

TABLE IV.
Cracovie (Observatoire) 50°04' N, 19°57' E, 200 m.

Facteurs	I	II	III	VI	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Durée du jour (heures)	8,3	9,9	11,7	13,6	15,2	16,1	15,7	14,3	12,5	10,6	9,1	7,8
Distance zénitale du soleil (degrés) . .	71,4	68,1	52,1	40,3	31,2	26,7	28,5	36,0	47,0	58,5	68,6	73,3
Rayonnement direct (°/o)	31,9	37,3	61,0	76,3	85,5	89,3	88,7	80,9	68,2	56,6	35,5	28,6
Température moyenne	-2,19	-1,03	3,22	7,89	13,26	16,90	18,60	17,63	13,94	8,87	2,92	-1,18
Vitesse des réactions	0,82	0,91	1,34	2,06	3,37	4,70	5,50	5,03	3,59	2,25	1,31	0,90
Température max. moy.	0,7	2,6	7,8	12,7	18,5	22,2	24,0	23,0	19,3	13,7	6,1	1,6
Jours à temp. max. ≤ 0	11,6	7,6	2,2	0	0	0	0	0	0	0	2,7	8,7
Température min. moy.	-4,8	-3,7	-0,1	3,9	8,6	12,0	13,9	12,9	9,5	5,2	1,8	-3,6
Température min. abs. moy.	-15,1	-13,2	-7,6	-1,7	2,3	7,5	10,1	8,3	3,1	-1,5	-7,5	-13,4
Jours à temp. min. ≤ 0	22,6	20,4	14,0	2,8	0,2	0	0	0	0,2	1,6	12,7	23,0
Pression barométrique (700 +)	43,3	42,1	40,2	40,8	41,2	41,7	41,8	42,7	44,3	43,4	45,0	42,6
Tension de vapeur à 14 h	3,8	3,9	4,7	5,9	8,1	10,2	11,7	11,3	9,4	7,6	5,4	4,0
Indice d'évaporation max. moy. . . .	1,0	1,7	3,5	5,5	8,6	11,0	11,9	11,0	8,0	4,4	1,7	1,1
Nébulosité diurne	7,45	7,40	6,92	6,96	6,51	5,91	6,07	5,55	5,50	6,63	7,36	7,24
Rayonnement total (°/o)	44	44	48	48	51	56	54	58	59	50	45	46
Nébulosité nocturne	7,6	7,6	6,8	6,9	5,8	5,4	5,6	5,1	5,5	6,7	7,4	7,7
Vent (m/sec) à 14 h.	2,5	3,1	3,3	3,6	3,2	2,7	2,6	2,6	2,6	2,4	2,5	2,5
Somme des précipitations (mm)	26,2	29,7	35,4	54,9	59,2	95,2	136,6	103,5	51,0	60,4	35,9	37,4
Précipit. journ. max. moy. (mm) . . .	7,5	9,0	9,4	12,8	15,0	29,8	45,0	33,9	15,2	15,2	9,1	12,2
Jours de précipitations	15,7	15,0	15,5	18,4	17,3	15,0	16,8	15,0	13,2	19,9	18,6	17,3
Jours de neige	8,2	10,9	7,2	2,8	0,2	0	0	0	0	0,6	4,7	9,7

Je donne, dans les tables III et IV, en suivant une idée de Livingstone, encore la vitesse des réactions chimiques sous l'action de la température de l'air. J'admets que cette vitesse suit la loi de van't Hoff et augmente deux fois et demie pour l'élévation de la température de 10 degrés. En posant que la vitesse des réactions soit égale à l'unité pour zéro, on a pour cette vitesse la formule:

$$w = 2,5^{0,1t}$$

où t est la température moyenne de l'air. Cette fonction est utile pour se faire une idée du maximum possible de l'activité de la vie végétale.

Pour ce qui est de la vitesse du vent, je la donne comme la valeur submaximum déduite des observations de 13 ou 14 heures. A Iakoutsk la vitesse du vent était mesurée au niveau de 8,9 m au moyen d'un anémomètre de Wild qui a été monté sans doute sur un poteau. A Cracovie l'anémomètre de l'Observatoire est situé sur l'édifice haut de 21,2 m à 2,77 m au-dessus du toit. Par suite, les valeurs de la vitesse du vent pour ces deux localités sont difficilement comparables, ce qui est d'ailleurs le cas ordinaire pour ce facteur climatologique.

La comparaison des climats d'Iakoutsk et de Cracovie se heurte encore à cette difficulté qu'à Iakoutsk, comme dans tout le réseau météorologique russe d'avant la guerre, on ne mesurait pas les maxima de la température. Par suite, on est forcé de limiter l'étude des conditions thermiques aux moyennes et aux minima de la température.

Nous baserons nos considérations sur les valeurs mensuelles des facteurs météorologiques et nous commencerons par la durée de la végétation. On peut la définir de différentes façons. J'ai adopté la méthode basée sur les minima de la température supérieurs à zéro. Ainsi le commencement et la fin de la saison de végétation seraient définis par le passage du minimum par le zéro. A ce but, on admet que le minimum de la température au voisinage des périodes considérées est une fonction linéaire du temps. On admet en outre que le quinzième jour du mois le minimum a la valeur égale à la moyenne mensuelle. On obtient ainsi pour Iakoutsk le commencement de la saison de la végétation le 18 mai et la fin —

le 18 septembre, ce qui donne 123 jours pour la durée de la végétation. Pour Cracovie on a: le commencement — le 16 mars et la fin — le 25 novembre, ce qui donne 255 jours de végétation, soit à peu près le double.

Pour ce qui est de la température moyenne de l'air, on a dans les deux localités en plein été les conditions sensiblement égales. Le mois de juillet est un peu plus chaud à Iakoutsk qu'à Cracovie, en donnant l'excès de 8% pour la vitesse des réactions. En revanche, au mois de juin Cracovie l'emporte sur Iakoutsk de 6% et au mois d'août de 16%. Pour mesurer l'effet de la température pendant toute la durée de la végétation nous prendrons la somme des vitesses journalières des réactions chimiques, en attribuant à tous les jours du mois la valeur moyenne mensuelle. On aura pour Iakoutsk 508 et pour Cracovie 865. La différence est au détriment d'Iakoutsk, mais plus petite qu'on n'aurait supposé.

Il est difficile de se faire une idée de la radiation solaire dans les deux stations considérées. L'affaiblissement du rayonnement total par les nuages et à peu près le même: 41% à Iakoutsk, 44% à Cracovie pour les trois mois les plus chauds. La fraction du rayonnement direct du soleil tombant sur le plan horizontal est naturellement plus faible dans la première de ces stations. Cependant, lorsqu'on étudie le mûrissement des fruits, il faut prendre en considération l'intensité totale du rayonnement direct, car ils ne sont pas plats. Or, l'intensité totale dans les hautes latitudes est à peu près la même que dans les pays tempérés. Ainsi Funke¹⁾ a observé à Abisko, à 68° de latitude, c'est-à-dire à 6° plus au nord de Iakoutsk, en juillet et août les maxima diurnes du rayonnement direct total variant de 1,04 à 1,36 *gr.cal/min.cm*² avec la moyenne de 1,27. On peut donc admettre que l'échauffement des fruits par les rayons du soleil est également fort à Iakoutsk qu'à Cracovie, toutes choses supposées égales d'ailleurs. Cette supposition est parfaitement admissible, étant donné que la nébulosité est à peu près la même dans les deux stations et le vent un peu plus faible à Iakoutsk qu'à

¹⁾ Funke A. Mesures de la radiation solaire à Abisko pendant l'été 1914. — Meddelanden fran Statens Meteorologisk-Hydrografiska Anstalt. Vol. I, Nr. 3 (1921).

Cracovie. Cet échauffement dure beaucoup plus longtemps à Iakoutsk qu'à Cracovie. En effet, la durée du jour est à Iakoutsk de 2,1 heures plus grande au mois de juin, de 3,1 en juillet, de 1,5 en août. Ici probablement réside la cause de ce fait étrange que dans ce climat si rude les melons mûrissent à l'air libre.

La comparaison des indices d'évaporation pour les deux stations considérées est difficile, étant donné que pour Iakoutsk il est impossible de calculer la valeur maximum, les maxima de la température faisant défaut. Comme j'ai démontré dans la partie VI de ces études¹⁾, il faut augmenter de 20% environ les valeurs de l'indice d'évaporation de 13 heures pour obtenir les valeurs maxima. On aura ainsi en juillet l'évaporation un peu plus forte à Iakoutsk qu'à Cracovie et un peu plus faible aux mois de juin et août. Par conséquent, les conditions climatériques à ce point de vue sont semblables dans les deux stations.

Le régime des vents constitue, comme il a été déjà expliqué plus haut, une question fort épineuse. Cependant, il est hors de doute que les vents sont plus faibles à Iakoutsk qu'à Cracovie. Ceci doit contribuer à l'échauffement des plantes par les rayons du soleil. Les vents sont à Iakoutsk surtout faibles en hiver. Ce point est particulièrement important, car ceci explique ce fait remarquable que la végétation dans la région d'Iakoutsk est en général forestière. En effet, comme je l'ai démontré dans les parties IV²⁾ et XX³⁾ de ces études les forts vents glaciaux sont absolument hostiles aux arbres. Par contre, les conditions thermiques n'exercent pas d'influences décisives.

Passons enfin au régime des pluies. A ce point de vue, Iakoutsk a un climat très sec: il n'y a que 174 mm d'eau tombée par an. Calculons le quotient hydrométrique, en divisant cette quantité par la somme des valeurs moyennes mensuelles de l'indice d'évaporation pour 13 h. On obtient la valeur 4,56. Il faut la déduire de 17% pour obtenir la valeur

¹⁾ Sur les rapports entre l'humidité du climat et la végétation.—Acta Soc. Bot. Polon, Vol. III (1925) 115—137.

²⁾ Sur le rôle écologique des vents, — l. c. Vol. II (1924) 130—151.

³⁾ La limite thermique des arbres existe-elle? — l. c. Vol. VII. (1930)

exacte, basée sur les maxima de l'indice d'évaporation: on aura 3,78. Pour cette valeur, on a dans tous les pays froids la végétation steppique¹⁾. Or, la végétation de la région d'Iakoutsk est surtout forestière et les steppes ne se trouvent que par places. Ce fait paradoxal s'explique probablement par la meilleure utilisation des eaux des pluies. En effet, le sol est ici constamment gelé à une certaine profondeur: d'après Abolin²⁾ dans la région de Lena-Viloui la surface de cette glace permanente ne s'abaisse en été qu'à une profondeur de 120—150 *cm* dans les prairies, à 75—125 *cm* dans les forêts et à 25—30 *cm* dans les tourbières. Il est ainsi constitué dans le sol un horizon imperméable qui retient les eaux des pluies dans les couches peu profondes, d'où les plantes les absorbent.

¹⁾ Comparez la partie VI de ces études. Les forêts exigent le quotient hygrométrique supérieur à 5.

²⁾ Abolin R. La végétation et les sols de la plaine Lena-Viloui. Essais sur la phytosociologie et phytogéographie. (Livre jubilaire de prof. Soukatcheff). Leningrad (1924) 66—67. (En russe).