

Température minimale au niveau du sol

Raymond-M. Gagnon

Volume 12, Number 25, 1968

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/020787ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/020787ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Département de géographie de l'Université Laval

ISSN

0007-9766 (print)

1708-8968 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Gagnon, R.-M. (1968). Température minimale au niveau du sol. *Cahiers de géographie du Québec*, 12(25), 67–79. <https://doi.org/10.7202/020787ar>

Article abstract

The author studies the relationship between the minimum temperatures recorded in a standard meteorological shelter and the corresponding minimum temperature near the ground surface for 18 stations in Québec from May to November, 1965 and 1966.

Since there is an excellent correlation (0.96) between the two series of temperatures for a given site, only a limited number of measurements need be taken near the surface, in order to obtain information which is statistically significant ; however, care must be taken, since the mean deviations vary greatly from site to site, as is shown by the table of detailed results for the 18 stations studied.

TEMPÉRATURE MINIMALE AU NIVEAU DU SOL

par

Raymond-M. GAGNON

Service de météorologie, ministère des Richesses naturelles, Québec

Cet article, basé sur les données des années 1965 et 1966, généralise la relation mathématique qui existe entre les températures au niveau de l'abri et celles au niveau du sol. Il présente une étude complète de la corrélation entre les deux températures, pour dégager le sens statistique des écarts qui s'établissent entre le sol et l'abri.

I. INTRODUCTION

L'atmosphère, parce qu'elle est soumise à de nombreuses fluctuations, ne possède pas de propriétés calorifiques homogènes: sa température est en général différente d'un point à un autre, ce qui crée des différences de densité, donc des courants, même dans une atmosphère relativement calme. Ceux-ci rendent difficile toute extrapolation de températures locales en partant de données connues. Il existe cependant des méthodes statistiques permettant d'établir, avec une relative exactitude, les valeurs de température qu'on désire connaître. Ces méthodes, malgré la simplicité de leur application, exigent tout de même des calculs laborieux. Elles nécessitent ordinairement des séries d'observations simultanées, d'abord à un point de référence, puis aux endroits à étudier. Il est alors possible d'établir des courbes qui donnent, en fonction de la probabilité, la valeur de l'écart entre la température de référence et celle du site à étudier.

Nous présentons dans cet article l'application d'une méthode statistique qui permet de déterminer la température minimum au niveau du sol d'après la température minimum observée sous abri. Les phénomènes physiques qui régissent les écarts de température au sol et dans l'abri sont d'abord brièvement décrits. Puis les relations statistiques existant entre les températures minima sous abri et au sol sont analysées, afin de dégager la signification exacte de la distribution statistique des écarts de température.

II. ORIGINE DES DONNÉES

La température minimum sous abri nous est fournie par un thermomètre fixé à l'intérieur d'un abri météorologique placé à quatre pieds du sol, tandis que la température minimum de « gazon » est lue sur un thermomètre placé, à ciel ouvert, sur un support métallique à deux pouces au-dessus d'un sol gazonné. Les

deux thermomètres sont de type à alcool et sont pourvus d'un curseur. Les lectures sont prises approximativement à 8 heures (heure normale) tous les matins et couvrent la période qui débute à 18 heures la veille; les valeurs présentées dans cette étude sont donc valides pour la nuit. Les données ont été recueillies dans 18 stations météorologiques (tableau 1) durant deux périodes, soit celles de mai à novembre des années 1965 et 1966 (2).

III. L'INVERSION THERMIQUE VERTICALE

Nous croyons utile de rappeler la relation physique qui existe entre les températures minimales mesurées sous abri à quatre pieds du sol et les températures minimales enregistrées à ciel ouvert à deux pouces d'une surface gazonnée. Comme nous l'avons indiqué, ces températures minimales s'appliquent à la période nocturne.

On sait que, de façon générale, l'atmosphère se refroidit durant la nuit et qu'alors, il se produit dans l'atmosphère des différences de température et, par conséquent, de densité. Plus l'air est froid, plus il est dense. Il a donc tendance à descendre vers le sol et l'air chaud, plus léger, à s'élever. L'atmosphère se trouve donc étagée de telle sorte que l'air froid est près du sol, sous l'air chaud; ce phénomène est celui de l'inversion thermique nocturne, qui se produit normalement, à moins de circonstances spéciales.

L'inversion thermique nocturne est le résultat d'un phénomène radiatif se produisant dans les basses couches de l'atmosphère. En effet, le sol et cette dernière émettent, sous forme de longues ondes électromagnétiques, l'énergie qu'ils ont

Tableau 1 *Position géographique des stations météorologiques*

Stations	Latitude	Longitude	Altitude (en pieds)
Amos	48° 34'	78° 08'	1,002
Caplan	48° 06'	65° 39'	120
La Pocatière	47° 21'	70° 02'	100
Laprairie	45° 25'	73° 29'	50
L'Assomption	45° 50'	73° 28'	69
Laval-des-Rapides	45° 33'	73° 42'	75
Lavaltrie	45° 56'	73° 19'	100
Lennoxville	45° 22'	71° 50'	498
Montréal (Jardin botanique)	45° 34'	73° 33'	130
New Richmond	48° 15'	65° 53'	25
Normandin	48° 51'	72° 32'	450
Oka (La Trappe)	45° 27'	74° 02'	300
Oskélanéo	48° 07'	75° 12'	1,362
Portage-des-Roches	48° 18'	71° 12'	540
Squateck	47° 53'	68° 44'	550
Tadoussac	48° 08'	69° 43'	150
Valcartier	46° 57'	71° 30'	605
Victoriaville	46° 04'	71° 57'	485

emmagasinée durant le jour. Cependant, le sol, parce qu'il est solide, rayonne beaucoup plus que l'atmosphère; il se refroidit donc davantage et plus rapidement. Il a tôt fait, après le coucher du soleil, de se débarrasser de son excédent de chaleur par rapport à l'atmosphère et peut même devenir plus froid. Il se crée par rayonnement, un transport de chaleur de l'atmosphère vers le sol, auquel vient d'ailleurs s'ajouter une perte de chaleur par conduction.

L'intensité du rayonnement terrestre est fonction de la nature du sol. En général, plus la couleur du sol est foncée plus fort est le rayonnement terrestre. D'autres facteurs, comme la teneur en eau, la porosité et la conductivité du sol, influent aussi sur l'intensité du rayonnement.

L'intensité de l'inversion thermique nocturne est sujette à des fluctuations causées par des facteurs purement météorologiques. Ainsi les nuages, en plus d'émettre eux-mêmes de l'énergie vers le sol, réfléchissent vers la terre les radiations reçues du sol. Plus les nuages sont bas, plus ils contribuent à maintenir élevée la température du sol. Le vent, de son côté, favorise le mélange de l'air et empêche la stagnation de l'air froid au niveau de sol. Quant à l'humidité qui retarde l'abaissement de la température dans une masse d'air, elle met un frein à la formation des fortes inversions thermiques. Si la température de l'air baisse jusqu'au point de saturation, il y a formation de brume, dégagement de chaleur et arrêt de la baisse de température.

De même, l'inversion thermique pourra être plus intense si des facteurs géographiques entrent en ligne de compte. Ainsi, la proximité d'un lac ou de la mer, à cause de la vapeur d'eau qui s'en dégage, empêche les fortes baisses de température. De même, la présence d'un relief accidenté provoque l'écoulement de l'air froid le long des pentes jusque vers les points les plus bas (vent catabatique).

L'inversion thermique sera plus ou moins prononcée selon l'importance des facteurs que nous venons de décrire. En somme, l'inversion la plus intense nécessite une atmosphère sèche, un sol dépourvu d'humidité, un ciel clair, un temps calme, un albédo minimum, une station plutôt continentale que maritime et, finalement, un site au fond d'une vallée plutôt que sur un sommet.

IV. ANALYSE DES DONNÉES

Températures au sol et températures sous abri

Corrélation. L'ordinateur électronique a rendu possible l'analyse complète des relevés simultanés de températures aux niveaux du sol et de l'abri. Les tests et les résultats statistiques qui en découlent paraissent dans le tableau 2.

Les colonnes les plus révélatrices du tableau sont, d'une part, celles qui donnent les coefficients de corrélation (r_{as}) entre les températures au niveau du sol et au niveau de l'abri et, d'autre part, celles qui donnent les rapports entre les écarts-types de ces mêmes températures (σ_s/σ_a). L'examen statistique des 18 valeurs que comprennent chacune de ces deux colonnes est très révélateur.

En effet, en tenant compte du fait que l'erreur statistique liée à un coefficient de corrélation calculé avec 344 paires de valeurs est égale à 0.054 (1), on peut

Tableau 2 *Sommaire des tests et calculs statistiques*

Stations	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>s</i>	<i>r_{as}</i>	<i>σ_s/σ_a</i>	<i>r_{as} σ_s/σ_a</i>	<i>e_m</i>	<i>r_{ae}</i>	<i>σ_e</i>	<i>γ₁</i>	<i>γ₂</i>
Amos	342	43.0	40.9	0.98	1.02	1.00	- 2.1	0.01	1.9	-0.72	0.78
Caplan	366	46.4	41.1	0.95	1.07	1.02	- 5.3	0.09	3.3	-0.57	0.10
La Pocatière	366	46.6	40.8	0.95	1.13	1.07	- 5.8	0.21	3.5	-0.02	- 1.11
Laprairie	354	51.1	47.8	0.97	1.02	0.99	- 3.3	-0.04	2.5	-2.09	12.31
L'Assomption	367	47.3	41.8	0.97	1.08	1.05	- 5.3	0.19	2.9	0.14	- 0.77
Laval-des-Rapides	364	50.4	41.2	0.97	1.06	1.03	- 4.2	0.06	2.9	-0.72	3.36
Lavaltrie	310	48.9	41.8	0.97	1.12	1.09	- 7.1	0.29	3.1	-0.15	0.27
Lennoxville	347	46.0	41.9	0.99	1.07	1.06	- 4.1	0.31	2.1	0.42	1.06
Montréal (Jardin botanique)	357	51.9	44.3	0.94	1.12	1.05	- 7.6	0.12	4.3	-0.25	- 0.19
New Richmond	346	44.2	41.6	0.98	1.04	1.02	- 2.6	0.12	2.0	-2.01	6.82
Normandin	367	41.7	37.1	0.96	1.04	1.00	- 4.5	0.02	3.1	-1.46	5.18
Oka (La Trappe)	307	51.2	47.6	0.97	1.00	0.97	- 3.6	-0.12	2.5	-0.17	2.88
Oskélanéo	278	45.7	35.4	0.90	0.97	0.87	-10.3	-0.28	4.2	0.17	0.34
Portage-des-Roches	283	43.7	40.1	0.95	1.02	0.97	- 3.6	-0.11	3.4	-2.15	11.56
Squateck	367	43.1	38.9	0.97	1.06	1.03	- 4.1	0.12	2.6	-0.71	1.96
Tadoussac	338	44.4	40.2	0.92	1.11	1.02	- 4.2	0.04	3.8	0.09	- 0.61
Valcartier	358	44.2	39.6	0.97	1.09	1.06	- 4.6	0.18	2.7	-0.73	2.20
Victoriaville	367	47.8	44.1	0.98	1.03	1.01	- 3.7	0.04	2.2	-0.02	- 0.33
Moyenne	344			0.961	1.058	1.017		0.069			
<i>σ</i>				0.022	0.044	0.048					

Indices

a : température sous abri;
s : température au niveau du sol;
e : écart de température entre l'abri et le sol;
m : valeur moyenne.

Variables

n : nombre de jours d'observation;
r : coefficient de corrélation;
σ : écart-type (en degrés F.);
e : écart de température entre l'abri et le sol (en degrés F.);
γ₁ : coefficient d'asymétrie;
γ₂ : coefficient d'aplatissement;
a : température sous abri;
s : température au niveau du sol.

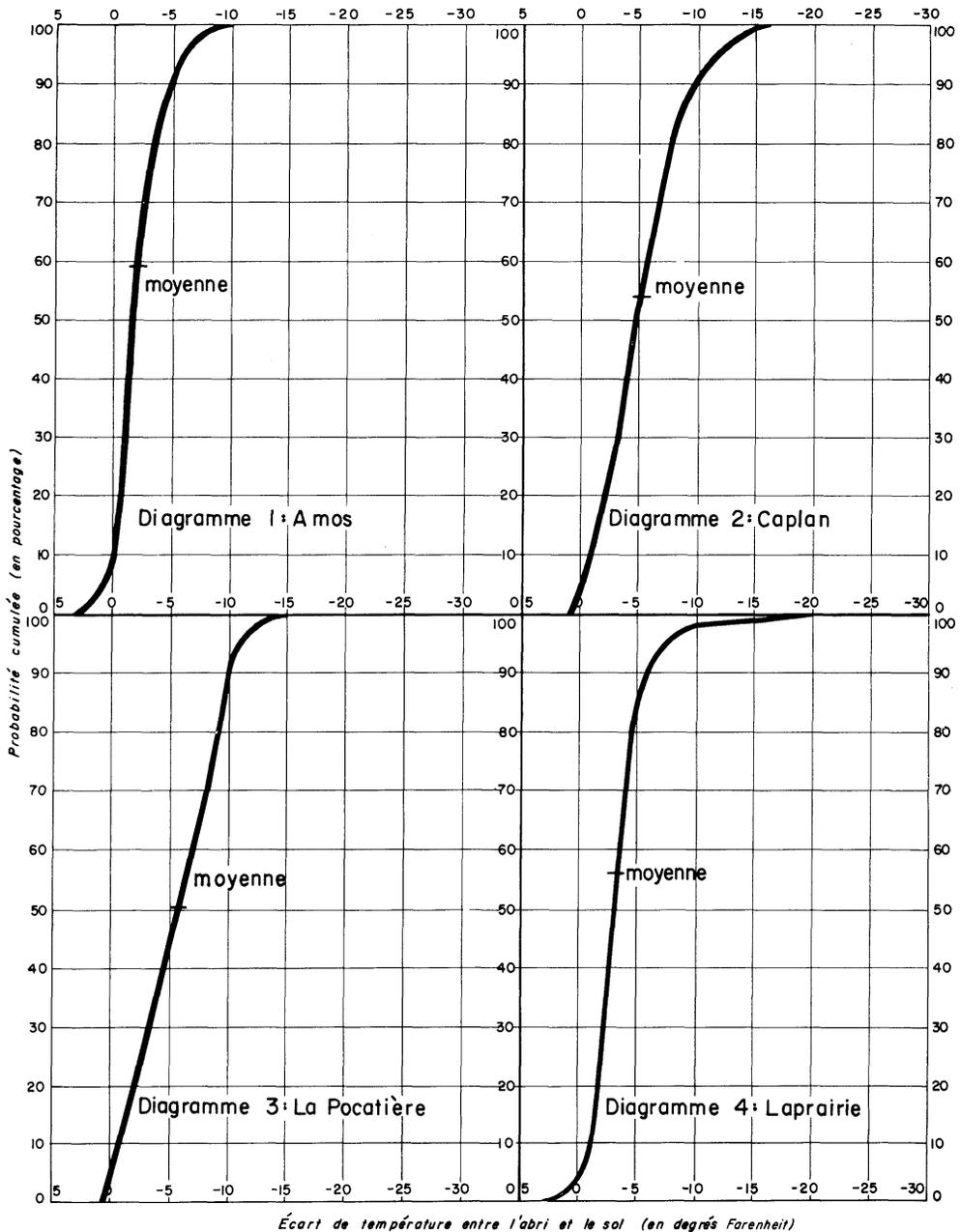


Figure 1

affirmer que les 18 valeurs de la colonne ras proviennent toutes d'une même population. Elles se groupent autour d'une valeur moyenne de 0.961 et les valeurs extrêmes que le coefficient prend à Oskélanéo (0.90) et Lennoxville (0.99) tombent bien en deçà des limites de probabilités de 95% qui sont ± 1.96 fois l'erreur sta-

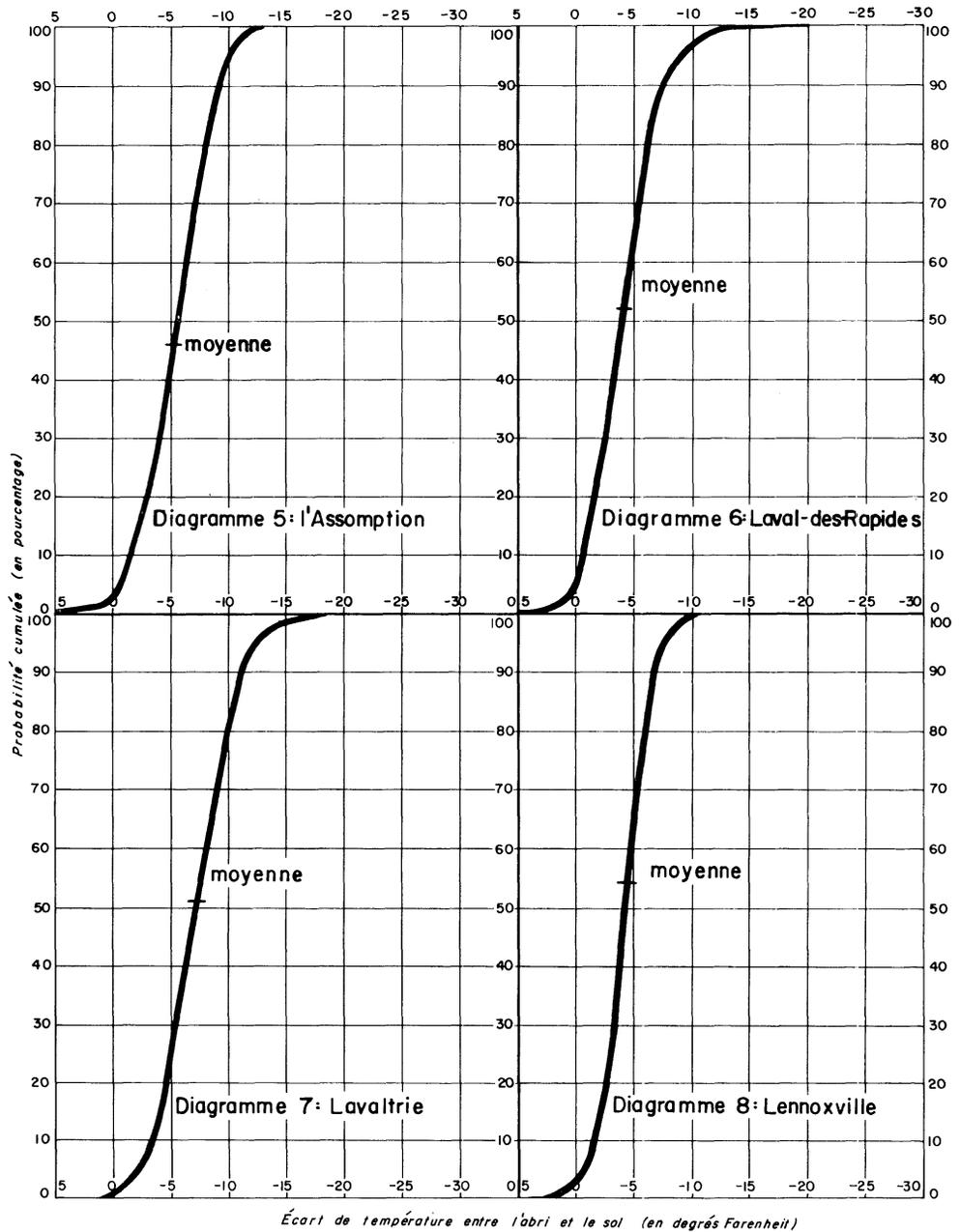


Figure 2

tistique, soit 0.96 ± 0.11 . La valeur moyenne du coefficient de corrélation peut donc être supposée égale à 0.961 pour toutes les stations puisque les variations observées sont simplement des variations statistiques. L'erreur attachée à cette valeur moyenne calculée avec 18 valeurs individuelles est de 0.005.

De même, le rapport moyen des écarts-types (σ_s/σ_a) est constant aux 18 stations. En effet, l'erreur statistique liée à chaque coefficient est estimée, d'après celles des écarts-types, à ± 0.08 . Toutes les valeurs du rapport (σ_s/σ_a) sont tellement groupées autour de la moyenne de 1.058 qu'aucune n'excède les limites de probabilités de 95% qui sont 1.06 ± 0.15 . L'erreur attachée au rapport moyen calculé d'après les 18 stations est de 0.01.

Les températures aux niveaux du sol et de l'abri sont donc fortement reliées, puisque l'étude statistique de 18 stations indépendantes met en évidence non seulement des fortes valeurs du coefficient de corrélation, mais indique en outre que les valeurs proviennent toutes d'une même population. Le coefficient moyen valide à toutes les stations est de 0.961 ± 0.005 . De plus, le rapport moyen des écarts-types est constant aux 18 stations, prouvant ainsi que les températures au niveau de l'abri et au niveau du sol se distribuent toutes de façon semblable autour des moyennes. La valeur moyenne du rapport des écarts-types est de 1.06 ± 0.01 .

Droite de régression. L'étude de ces deux facteurs permet alors d'établir les relations qui existent entre les températures au niveau du sol et celles au niveau de l'abri. Les statistiques nous apprennent que (1):

$$\Delta t_s = r_{as} \sigma_s / \sigma_a \Delta t_a$$

où Δt_a = l'écart de la température sous abri par rapport à la température moyenne sous abri;

Δt_s = la différence correspondante au niveau du sol.

r_{as} , σ_s et σ_a sont définis au tableau 2. Le produit $r_{as} (\sigma_s/\sigma_a)$ est donc important. Il permet d'établir la correspondance des écarts des températures sous abri avec ceux au niveau du sol. Nous avons donc étudié la distribution des produits $r_{as} (\sigma_s/\sigma_a)$ aux 18 stations. Nous avons trouvé une valeur moyenne du produit de 1.017 avec une erreur statistique de ± 0.013 . Les 18 valeurs individuelles sont suffisamment groupées autour de la valeur moyenne pour qu'on puisse affirmer qu'elles proviennent toutes d'une même population. Elles accusent en effet, une variabilité de l'ordre de 4.7% et l'erreur statistique applicable à chaque valeur individuelle est estimée, d'après les erreurs sur r_{as} , σ_a et σ_s , à environ 13%.

Parce que la valeur de 1.017 du produit $r_{as} (\sigma_s/\sigma_a)$ est voisine de l'unité, nous avons appliqué un test de Student pour vérifier si l'hypothèse d'une valeur unitaire était valable. Un tel test s'écrit (1):

$$t = \frac{m - m'}{\sigma/\sqrt{n}}$$

où m = la moyenne calculée;

m' = la moyenne présumée;

σ/\sqrt{n} = l'erreur statistique de la moyenne.

Faisant $m' = 1$, $m = 1.017$ et $\sigma/\sqrt{n} = 0.013$, on obtient $t = 1.31$.

Pour 17 degrés de jeu, une valeur de $t = 1.31$ ne correspond pas à un niveau de probabilité suffisamment significatif. Dans un tel cas, on peut affirmer que la différence de 0.017 est uniquement due au hasard et qu'en somme, une relation *directe et unitaire* existe entre Δt_s et Δt_a .

Donc $\Delta t_s = \Delta t_a$; c'est l'équation différentielle de régression existant entre les températures aux niveaux du sol et de l'abri. Cette équation donne la valeur la plus probable de la température au niveau du sol à partir de la valeur de la température sous abri et peut encore s'écrire:

$$t_s = t_a + e_m$$

où t_s = la température au niveau du sol que l'on veut connaître;

t_a = la température au niveau de l'abri;

e_m = l'écart entre les températures moyennes au niveau du sol et sous abri;

c'est aussi l'écart moyen entre les températures au niveau du sol et de l'abri.

Température sous abri et écarts de température

On peut alors se demander si l'écart de température existant dans l'atmosphère entre les niveaux du sol et de l'abri est relié à la température observée sous l'abri. Les statistiques permettent d'établir la formule suivante:

$$r_{ae} = \frac{r_{as} \sigma_s / \sigma_a - 1}{\sqrt{1 - (\sigma_s / \sigma_a)^2 - 2r_{as} \sigma_s / \sigma_a}}$$

où les différents symboles utilisés sont décrits au tableau 2.

Parce que le produit $r_{as} (\sigma_s / \sigma_a)$ est unitaire, on peut affirmer tout de suite qu'il n'existe aucune corrélation entre les écarts de température entre le sol et l'abri et la température sous abri.

Nous avons néanmoins étudié les valeurs individuelles du coefficient de corrélation entre les écarts de température existant entre le sol et l'abri et les températures sous abri. Ces valeurs paraissent en tableau 2 sous la colonne intitulée r_{ae} : à l'examen, elles indiquent une forte variation. Elles s'échelonnent entre -0.28 à Oskélanéo et 0.31 à Lennoxville. La moyenne des 18 valeurs est cependant assez faible: elle est de 0.069 .

Seule la connaissance de l'erreur statistique de r_{ae} peut nous renseigner sur la forte dispersion des 18 valeurs trouvées et peut nous confirmer que les valeurs individuelles proviennent d'une même population.

Le coefficient r_{ae} étant relié aux données de base de façon assez complexe, il est difficile de connaître l'erreur statistique possible pour ce coefficient. Nous avons donc imaginé de recourir à la relation donnée plus haut afin de voir comment elle se comporte dans le voisinage des valeurs moyennes.

Utilisant dans la relation les moyennes du tableau 2, on obtient $r_{as} = 0.057$, ce qui est assez près de la valeur trouvée au moyen des valeurs individuelles.

Différenciant la relation et donnant par la suite aux variations les valeurs moyennes du tableau 2, nous obtenons:

$$dr_{ae} = 4.31 dr_{as} + 0.31 (d\sigma_s - 1.058 d\sigma_a)$$

Or, en moyenne, $\sigma_s / \sigma_a = 1.058$; en différenciant, on obtient:

$$d\sigma_s = 1.058 d\sigma_a$$

On a alors: $dr_{ae} = 4.31 dr_{as}$

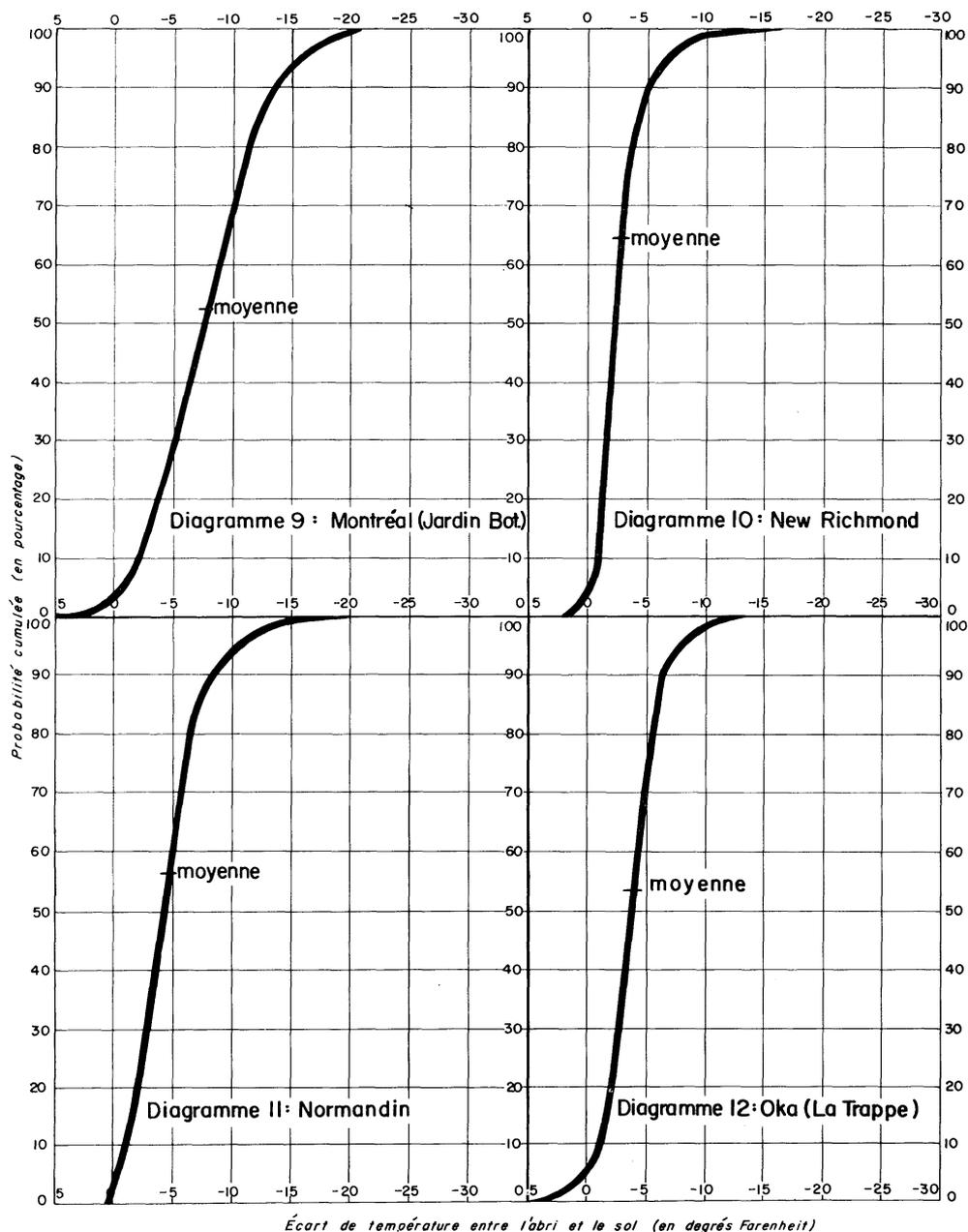


Figure 3

Pour une variation de ± 0.06 du coefficient r_{as} , variation d'ailleurs égale à la variation statistique d'un r_{as} individuel, on obtient: $dr_{ae} = \pm 0.256$

Cette conclusion est suffisante pour expliquer la forte dispersion des coefficients r_{ae} . Elle permet d'affirmer que chaque r_{ae} fait partie d'une même population.

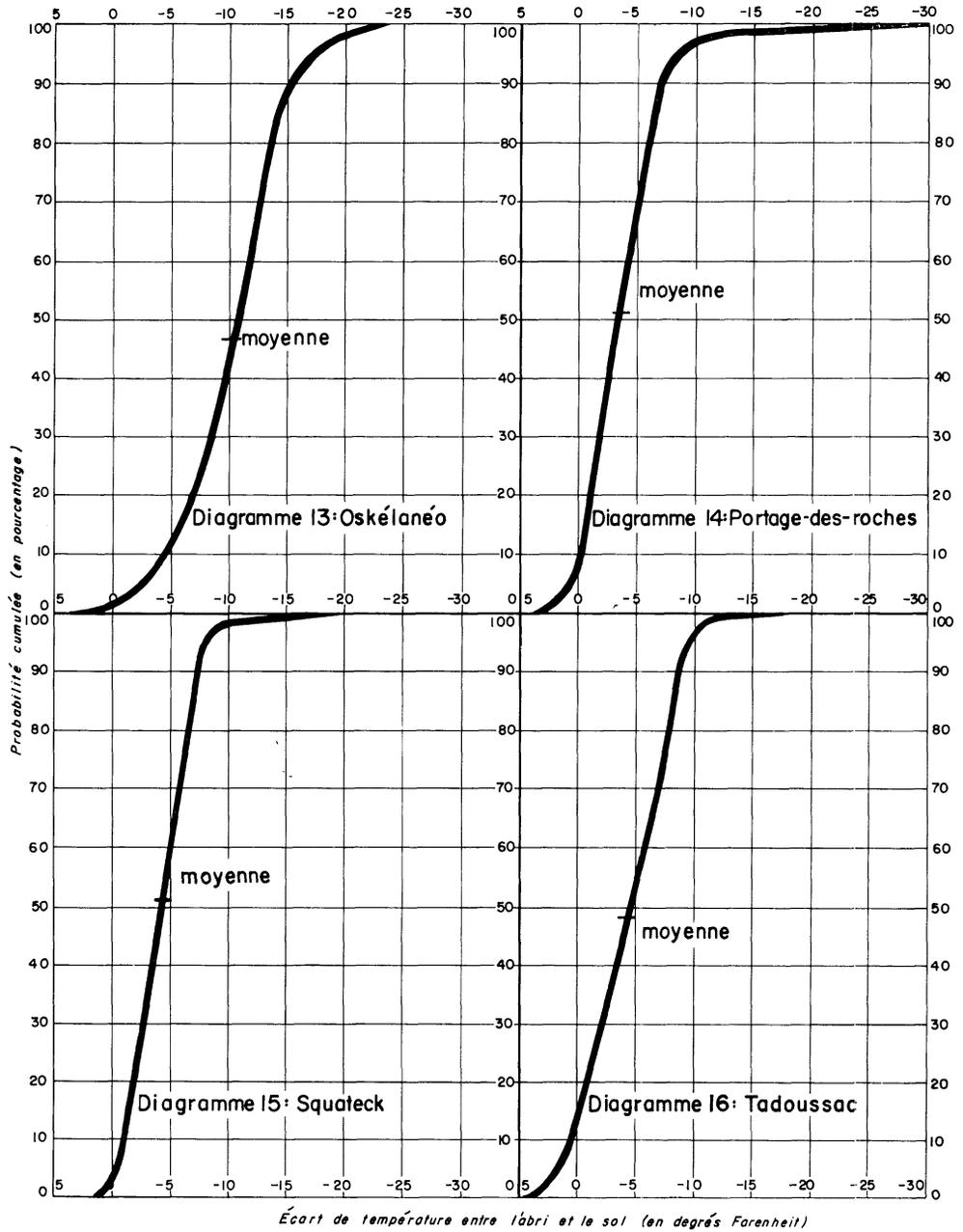


Figure 4

Elle permet également de supposer la valeur du coefficient r_{ae} égale à zéro, puisqu'une forte variation d'une valeur signifie automatiquement que l'erreur statistique reliée est forte.

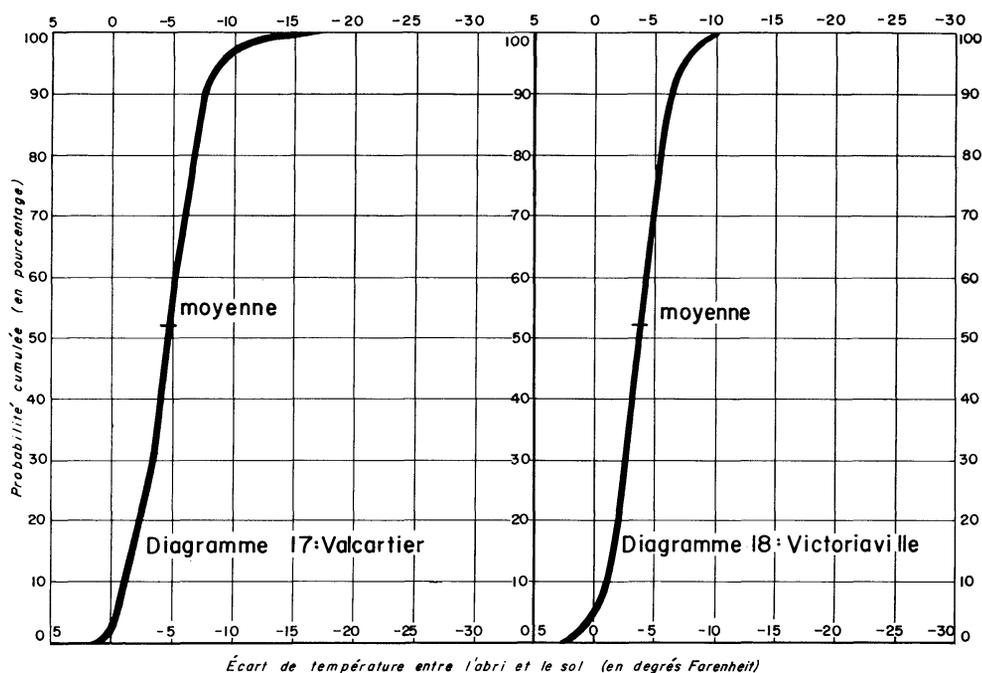


Figure 5

L'écart atmosphérique de température entre le sol et l'abri n'est pas relié à la température de l'abri. C'est dire que la différence de température entre le sol et l'abri se superpose de façon purement aléatoire à la température de l'abri pour donner la température au sol.

Les écarts

Puisqu'un écart particulier est applicable à toutes les valeurs de température sous abri, on peut étudier uniquement la distribution statistique des écarts et se renseigner sur les niveaux probables d'un écart particulier.

Le tableau 2 donne l'écart moyen (e_m) de température entre les niveaux du sol et de l'abri, la valeur de l'écart-type (σ_e), le coefficient d'asymétrie (γ_{ie}) et le coefficient d'aplatissement (γ_{2e}) liés à la distribution des écarts pour les 18 stations.

L'hypothèse d'un coefficient d'asymétrie nul donne, pour un niveau de probabilité de 95%, des variations possibles de ± 0.27 et donne, pour le coefficient d'aplatissement, des limites possibles de -0.46 et $+0.62$ (1). Comparant ces variations possibles aux valeurs tabulées, on s'aperçoit immédiatement que la distribution des écarts est, en moyenne, asymétrique du côté gauche et en moyenne fortement leptocurtique, c'est-à-dire que la distribution montre un groupement très marqué des valeurs autour du mode. Un ajustement normal est alors impossible. Il faut absolument tenir compte des valeurs de γ_{ie} et de γ_{2e} .

Il nous a été impossible de percevoir suffisamment de groupement autour des valeurs moyennes dans les coefficients de γ_{1e} et de γ_{2e} pour nous en permettre l'utilisation. Il aurait fallu négliger des coefficients dont le niveau de signification est supérieur à 95%. Dans ce cas, le meilleur procédé est l'utilisation de la courbe qui s'ajuste le mieux aux données.

La façon la plus simple d'obtenir de telles courbes est évidemment la méthode graphique qui, par son grand nombre de données, donne des résultats aussi bons que ceux obtenus par un ajustement statistique. Les courbes des 18 stations sont présentées dans les graphiques.

Ces graphiques permettront d'établir les niveaux de probabilité des différents écarts de température entre le sol et l'abri. Ces graphiques ne sont cependant applicables qu'aux endroits pour lesquels ils ont été établis ou encore à des endroits similaires au point de vue géomorphologique. Ils peuvent être utiles à l'agronome qui désirerait établir une relation entre les températures de l'abri et les températures au sol.

V. CONCLUSION

La présente étude démontre qu'il existe une excellente corrélation entre les températures au niveau de l'abri et celles au niveau du sol. Elle prouve de plus que l'écart de température entre le sol et l'abri se superpose à la température sous abri de façon aléatoire.

Ces résultats permettent d'affirmer qu'un nombre restreint de relevés de température au niveau du sol est suffisant pour en arriver à une bonne connaissance de la distribution statistique des écarts. Cependant, parce qu'il est bien difficile de relier entre eux les différentes distributions, ces relevés doivent être faits en différents endroits et ne sont valides que pour ces seules localités ou des localités au site semblable. L'agronome qui voudrait évaluer la probabilité d'un gel au sol à partir de la température sous abri pourra avantageusement utiliser les résultats de la présente étude.

Une étude similaire pourrait être entreprise pour des niveaux atmosphériques différents de celui du sol. Il est probable d'obtenir des résultats semblables qui pourraient servir à une meilleure connaissance des inversions thermiques nocturnes, phénomènes importants dans l'étude de la pollution atmosphérique.

RÉSUMÉ

L'auteur étudie la relation entre les températures minimales relevées sous abri et près du sol, en 1965 et 1966, dans 18 stations du Québec, de mai à novembre.

Comme il existe une excellente corrélation (0.96) entre les deux séries de températures mesurées dans un site donné, il suffit de relever un nombre restreint de températures au sol pour avoir des renseignements statistiques valides ; cependant il faut prendre garde à la forte variation des écarts moyens d'un site à l'autre, ainsi que le montre un tableau détaillé des 18 stations employées.

SUMMARY

The author studies the relationship between the minimum temperatures recorded in a standard meteorological shelter and the corresponding minimum temperature near the ground surface for 18 stations in Québec from May to November, 1965 and 1966.

Since there is an excellent correlation (0.96) between the two series of temperatures for a given site, only a limited number of measurements need be taken near the surface, in order to obtain information which is statistically significant; however, care must be taken, since the mean deviations vary greatly from site to site, as is shown by the table of detailed results for the 18 stations studied.

RÉFÉRENCES

1. BROOK, C. E. B., et CARRUTHERS, *Handbook of Statistical Methods in Meteorology*. Air Ministry, Meteorological Office, H. M. Stationery Office, Londres, 1953, 412 pages.
 2. SERVICE DE MÉTÉOROLOGIE, *Bulletin météorologique*, Supplément 1966. Service de météorologie, ministère des Richesses naturelles, Québec, 1966, 57 pages.
 3. VILLENEUVE, G.-Oscar, *Écarts entre la température minimum dans l'herbe et la température minimum sous abri*. Bull. MP-5. Service de météorologie, ministère des Richesses naturelles, Québec, 1966, 29 pages.
-