

**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

No. 36

Méthode de prévision de la température minimale sous abri
et au-dessus du gazon à la station de Genève-Cointrin durant
les mois d' avril et de mai

par

Eric Junet, Genève

Juillet 1973

Prévision du temps

551. 509. 323

Résumé

A la suite d'une étude statistique s' étendant à plusieurs prédicteurs, on retient comme seul prédicteur la température du thermomètre mouillé lue à 1600h HEC pour prédire les deux températures minimales indiquées dans le titre. L'inclinaison de la droite de régression est fixe; la nébulosité, la force du vent, les passages de fronts et les précipitations interviennent dans la détermination de la constante. Le taux d' exactitude est satisfaisant.

Summary [Forecasting screen and grass minimum temperatures at Geneva-Airport]

After a preliminary statistical investigation embracing several predictors, the wet-bulb temperature observed at 1600h civil time is retained as the only predictor in forecasting the two minimum temperatures indicated in the heading. A unique regression coefficient is applicable; cloud cover, wind speed, fronts and precipitation are taken into account when determining the additive constant. Forecast accuracy is satisfactory.

Zusammenfassung [Vorhersage des Temperaturminimums in der Hütte und über Gras an der Station Genf - Flughafen]

Nach einer Abklärung des statistischen Wertes verschiedener Prädiktoren wird die Prognose der beiden im Titel angegebenen Temperaturminima ausschliesslich auf die 1600h MEZ abgelesene Feuchttemperatur gestützt. Die Neigung der Regressionsgeraden ist in allen Fällen dieselbe; Bewölkung, Windstärke, Frontdurchgänge und Niederschläge werden bei der Bestimmung der additiven Konstanten berücksichtigt. Der Prognosenerfolg ist zufriedenstellend.

Méthode de prévision de la température minimale sous abri et au-dessus du gazon à la station de Genève-Cointrin durant les mois d'avril et de mai

Introduction

Dans son étude sur le gel des plantes, Primault (1) a présenté une série de graphiques qui expriment la relation, en différents lieux de la Suisse, entre la température d'un thermomètre mouillé lu à 1600h et celle d'un thermomètre à minimum rayonnant librement durant la nuit, lu le lendemain matin, en fonction de la nébulosité moyenne du soir et du matin. Les instruments de mesure sont placés en air libre, 50cm au-dessus du sol.

Le but primitif que je m'étais fixé, affiner et adapter cette méthode de prévision aux conditions climatiques de la station de Satigny, n'a pu être réalisé car les observations de température considérées ne répondaient pas aux exigences d'une analyse statistique correcte.

Je me suis rabattu alors sur les observations effectuées à l'aéroport de Genève-Cointrin, conscient du fait que cette station ne dispose pas de l'instrumentation spécifique aux mesures de température du réseau de gel, mais espérant néanmoins y trouver l'information nécessaire à l'élaboration d'une nouvelle méthode de prévision.

Rappel des lois relatives à l'abaissement de la température de l'air durant la nuit (2)

Le produit de la température absolue d'un corps qui rayonne par la longueur d'onde du rayonnement maximum est constant, selon la loi de Wien. Ainsi la Terre rayonne dans la bande d'émission de l'infra-rouge et perd de la chaleur. L'intensité de ce rayonnement est proportionnel à la 4ème puissance de sa température absolue, selon la loi de Stephan-Boltzmann.

La perte de chaleur occasionnée durant la nuit par le rayonnement terrestre n'est pas compensée par le rayonnement solaire mais en partie par le contre-rayonnement de l'atmosphère, qui dépend surtout de la répartition verticale de la vapeur d'eau et de la nébulosité. Brunt (3) a donné une formule approximative qui permet de déterminer ce contre-rayonnement dans des conditions climatiques moyennes.

Au début du printemps la température assez basse du sol occasionne un taux de rayonnement modéré durant une période de 11h et plus, durant laquelle le rayonnement solaire manque. A la fin du printemps le sol plus chaud occasionne un taux de rayonnement plus élevé mais durant une période nocturne plus courte. Le phénomène se ressent même à l'échelle quotidienne, le taux de rayonnement par ciel clair diminuant d'environ 5 à 8% entre la fin de l'après-midi et l'aube, selon la variation de la température du sol.

Le refroidissement du sol est quelque peu atténué par l'apport de la chaleur emmagasinée le jour dans les couches sous-jacentes. La composition chimique et l'état du sol jouent un rôle important dans les processus de rayonnement et de transfert de chaleur (4).

Les échanges entre le sol et l'air avoisinant se déroulent par l'intermédiaire de divers modes de transfert hormis le rayonnement, soit la conduction, la diffusion turbulente ou la chaleur latente de vaporisation.

La décroissance de la température de l'air durant la nuit n'est pas régulière. La vitesse de chute se trouve fortement ralentie peu après le coucher du soleil et Saunders (5) attribue le phénomène à la formation de rosée au sol, qui libère de la chaleur de condensation. Un examen des enregistrements de la température et de l'humidité relative durant la nuit indique une relation très nette entre leur variation, ainsi généralement que la simultanéité de l'occurrence d'un point d'inflexion dans la première partie de la nuit.

Lorsque l'on mesure la température de l'air à l'aube, à différentes hauteurs au-dessus du sol, on constate qu'elle

varie. On trouve un minimum environ 10 à 20cm au-dessus de la couche végétale, puis des valeurs qui croissent rapidement dans les premiers décimètres d'altitude puis plus lentement, et enfin des valeurs décroissantes au-dessus du niveau de l'inversion nocturne. Ce schéma peut être fortement perturbé par les conditions météorologiques régnantes (vent, précipitations, brouillard, etc).

Prévision de la température minimale sous abri

Les diverses formules de prévision de la température minimale quotidienne en usage dans les centres météorologiques ont pour base l'application directe des lois du rayonnement (6), l'interprétation statistique (7-11), ou encore une combinaison des deux (12).

Certains des concepts introduits dans ces formules ne sont pas usuels à nos méthodes de travail ou de mesure et leur valeur en prévision varie souvent selon l'époque et le lieu choisis (13-14). D'autre part, étant donné la relative précision des mesures et les données disponibles, il importe surtout d'axer la recherche d'une méthode de prévision sur une démarche simple et rapide tout autant qu'efficace.

Choix préliminaire des prédicteurs (15-16)

Des formules de prévision basées sur la méthode statistique ressortent deux catégories de prédicteurs; la première trait aux caractéristiques de la masse d'air et la seconde aux conditions météorologiques dans l'intervalle de prévision.

Sur la base des observations de température sous-abri en nuit calme et claire (vent ≤ 3 noeuds, nébulosité totale $\leq 2/8$) durant les mois de mai de la période 1960 à 1969, ce qui élimine à priori un changement de la masse d'air ou l'influence de précipitations, j'ai procédé à l'étude de la relation entre divers prédicteurs de la première catégorie,

pris individuellement ou par paires et la température minimale sous-abri mesurée le lendemain matin. Le carré du coefficient de corrélation, obtenu par une analyse de régression, exprime la part de la variabilité totale expliquée par la relation entre les variables, sa valeur est toujours comprise entre 0 et 1. On peut donc associer la plus grande valeur de r^2 et le meilleur prédicteur.

<u>Prédicteur</u>	<u>r^2</u>
Température du point de rosée à 1600h	0,7095
Température du thermomètre sec à 1600h	0,7379
Température du thermomètre mouillé à 1300h	0,9059
Température du thermomètre mouillé à 1600h	0,9137
Température du thermomètre mouillé à 1900h	0,9419

Le meilleur des prédicteurs, soit la température du thermomètre mouillé à 1900h, bien que significativement supérieur aux autres, ne peut être retenu pour des raisons pratiques d'organisation et d'heure de diffusion des bulletins météorologiques. Considérons maintenant si le fait de combiner certains des prédicteurs apporte une amélioration sensible de la corrélation :

<u>Paire de prédicteurs</u>	<u>r^2</u>
Température du thermomètre sec et température du point de rosée à 1600h	0,9161
Température du thermomètre sec et température du thermomètre mouillé à 1600h	0,9160

Notons que pour une valeur donnée de la température du thermomètre sec les valeurs correspondantes de la température du thermomètre mouillé et du point de rosée sont interdépendantes et que leur choix, sous cet angle, est indifférent. Un test de sélection du nombre de prédicteurs indique que l'adjonction d'un deuxième élément à la température du thermomètre mouillé à 1600h n'entraîne aucune amélioration significa-

tive de la corrélation. On peut donc admettre en conclusion que la température du thermomètre mouillé, lu à 1600h, convient parfaitement à la prévision de la température minimale, au sens où je l'ai définie précédemment.

J'étend dès lors le champ d'investigation à toutes les observations de température des mois d'avril et de mai de la période 1958 à 1972 (période limitée par le fait que l'emplacement et le type d'abri météorologique ont été modifiés plusieurs fois au cours des années antérieures).

Les observations sont réparties en plusieurs classes qui correspondent au type de temps rencontré durant l'intervalle de la prévision, qui correspond en gros à la période nocturne. Si un changement de la masse d'air survient après la mesure du prédicteur, soit entre 1600h et 0700h, celui-ci perd à priori toute signification; il convient cependant de conserver la même forme d'analyse et de juger si on peut malgré tout lui accorder quelque crédit.

Les chiffres présentés dans la classification représentent une moyenne calculée sur les observations de 1900h, 2200h, 0100h, 0400h et 0700h. Le vent moyen est exprimé en noeuds, la nébulosité en octas. Les passages frontaux ont été relevés sur les analyses synoptiques de Genève ou le cas échéant sur de fortes variations de la température du thermomètre mouillé à 1600h d'un jour à l'autre.

<u>Classe</u>	<u>Mois</u>	<u>Nébulosité</u>	<u>Vent</u>	<u>Passage frontal</u>
1a	avril	0.0-3.4	0.0-3.0	non
1m	mai	0.0-3.4	0.0-3.0	non
1'a	avril	0.0-3.4	3.1-9.0	non
1'm	mai	0.0-3.4	3.1-9.0	non
2am	avril+mai	0.0-3.4	9.0	non
3a	avril	3.5-6.4	0.0-3.0	non
3m	mai	3.5-6.4	0.0-3.0	non
3'a	avril	3.5-6.4	3.1-9.0	non
3'm	mai	3.5-6.4	3.1-9.0	non
4am	avril+mai	3.5-6.4	9.0	non
4amf	avril+mai	3.5-6.4	indifférent	front froid
4amc	avril+mai	3.5-6.4	indifférent	front chaud
5a	avril	6.5-8.0	0.0-3.0	non
5m	mai	6.5-8.0	0.0-3.0	non

<u>Classe</u>	<u>Mois</u>	<u>Nébulosité</u>	<u>Vent</u>	<u>Passage frontal</u>
5'a	avril	6.5-8.0	3.1-9.0	non
5'm	mai	6.5-8.0	3.1-9.0	non
6am	avril+mai	6.5-8.0	9.0	non
6amf	avril+mai	6.5-8.0	indifférent	front froid
6amc	avril+mai	6.5-8.0	indifférent	front chaud

Calcul des droites de régression propres à chaque classe

La relation entre les variables s'exprime par une droite de régression de la forme $y = bx + a$. Voici, sous forme de tableau, les caractéristiques des droites de régression propres à chaque classe (N=nombre d'individus, \bar{x} =température moyenne du thermomètre mouillé à 1600h, \bar{y} =température minimale moyenne, b=pente de la droite de régression, a=constante, s^2 =variance, r^2 =carré du coefficient de corrélation, F=valeur calculée pour le test de Fisher):

Classe	N	\bar{x}	\bar{y}	b	a	s^2	r^2	F
1a	85	9,39	2,25	0,80	-5,24	1,64	0,77	281,62
1m	98	11,69	5,39	0,91	-5,30	1,41	0,85	536,92
1'a	58	7,95	1,35	0,69	-4,13	1,73	0,75	164,03
1'm	49	11,11	4,97	0,87	-4,70	1,62	0,81	194,27
2am	24	7,76	4,43	0,83	-1,99	2,01	0,78	78,61
3a	43	8,59	3,82	0,74	-2,50	1,51	0,79	151,14
3m	62	12,30	7,45	0,87	-3,23	2,32	0,70	142,49
3'a	55	7,54	3,35	0,84	-2,95	2,45	0,78	190,72
3'm	74	12,02	8,12	0,89	-2,63	2,84	0,72	184,95
4am	34	9,43	7,28	0,83	-0,56	2,52	0,82	150,28
4amf	19	10,19	5,24	0,96	-4,52	2,99	0,79	63,13
4amc	32	10,75	8,79	0,87	-0,57	2,54	0,76	97,38
5a	22	8,70	5,92	0,40	2,40	5,13	0,13	2,93
5m	34	11,16	8,90	0,89	-1,03	1,31	0,77	105,70
5'a	69	7,26	5,29	0,91	-1,34	1,13	0,89	530,75
5'm	45	11,68	9,48	0,76	0,60	1,54	0,76	133,17
6am	33	7,58	6,08	0,78	0,16	2,42	0,74	87,20
6amf	53	10,98	7,02	0,89	-2,76	2,04	0,76	163,69
6amc	39	9,43	8,25	0,97	-0,93	1,10	0,88	273,50

Toutes les classes sauf la classe 5a répondent au critère de dépendance entre les variables au seuil de probabilité de 5% ($p=0,05$). L'examen des variances démontre que la méthode statistique permet d'intégrer les classes qui impliquent un changement de la masse d'air durant l'inter-

valle de prévision aux autres classes. On constate par exemple que la valeur de la variance, dans les classes où la nébulosité est comprise entre 3,5 et 6,4 octas, indique une dispersion assez grande, qu'il y ait changement ou non de la masse d'air. Ceci s'explique par le fait que le choix d'une moyenne de nébulosité n'est pas toujours représentatif de la répartition de cette nébulosité au cours de la nuit, ce qui peut entraîner des différences assez sensibles dans l'abaissement de la température.

En ce qui concerne l'influence du vent sur l'abaissement de la température, on remarque que les classes où le vent est compris entre 0,0 et 3,0 et 3,1 et 9,0 noeuds donnent des résultats très voisins. Une distinction ne se justifie pas par rapport à l'écart qui existe entre celles-ci et la classe au-dessus.

Une analyse de variance avec test de parallélisme permet ensuite de comparer la pente des différentes droites de régression. L'hypothèse du parallélisme des droites doit être rejetée au seuil de probabilité 0,05 ($F_{\text{calculé}}=1,77$) et il convient donc de remanier légèrement la classification. Les classes 1a et 1'a, 1m et 1'm, 3a et 3'a, 3m et 3'm, 5a et 5'a, 5m et 5'm sont réunies, les autres ne subissent aucun changement. Voici les caractéristiques des droites de régression des classes qui ont été modifiées:

Classe	N	\bar{x}	\bar{y}	b	a	s^2	r^2	F
1a-1'a	143	8,80	1,88	0,74	-4,65	1,68	0,76	455,94
1m-1'm	147	11,50	5,25	0,90	-5,09	1,46	0,84	734,81
3a-3'a	98	8,00	3,56	0,79	-2,75	2,06	0,78	337,23
3m-3'm	136	12,15	7,81	0,88	-2,83	2,77	0,69	303,86
5a-5'a	91	7,61	5,44	0,84	-0,93	2,31	0,74	257,30
5m-5'm	79	11,46	9,23	0,81	0,00	1,44	0,76	242,06

Une nouvelle analyse de variance permet d'accepter l'hypothèse du parallélisme au seuil de probabilité 0,05 ($F_{\text{calculé}}=1,41$). Une pente commune à l'ensemble des droites de régression peut alors être estimée et l'équation finale

devient:

température minimale sous abri = $0,8372 \times$ température du thermomètre mouillé à 1600h + constante

La constante propre à chaque classe est déterminée à partir des moyennes de température \bar{x} et \bar{y} de la classe et de la pente commune ($b=0,8372$). Sa grandeur correspond en général aux effets que l'on peut attendre de la nébulosité et du vent sur l'abaissement nocturne de la température.

D'un point de vue scientifique rigoureux, la comparaison de la température d'un thermomètre mouillé et celle d'un thermomètre à minimum représente une abstraction. Bien que l'écart entre ces deux températures lues simultanément tend vers zéro avec l'augmentation de l'humidité relative, il eût fallu en bonne logique déterminer l'abaissement de la température du thermomètre mouillé durant la nuit en fonction de la situation météorologique, puis mesurer l'écart entre la valeur la plus basse lue sur le thermomètre mouillé et le thermomètre sec en fonction de l'humidité relative.

Comparaison de la température minimale sous abri et au-dessus du gazon

On s'accorde à reconnaître que la mesure de la température d'un thermomètre placé à découvert au-dessus d'un sol gazonné ne donne pas une idée précise de la température de l'air ambiant, mais plutôt de sa propre température, qui dépend avant tout des constantes physiques de l'appareil (17,18). Les nombres ainsi mesurés sont considérés comme des indices climatologiques assez grossiers ou indices actino-thermiques, dont la valeur s'apparente à la température des végétaux placés dans des conditions d'exposition similaires. On ne peut donc comparer strictement les températures sous abri et au-dessus du gazon (19).

Lawrence (20) détermine la température minimale au-dessus du gazon à partir de paramètres mesurés la veille mais

obtient des résultats très moyens. Le genre et le nombre de prédicteurs qu'il faudrait faire intervenir pour diminuer la variabilité entre les observations et par conséquent augmenter l'efficacité de la méthode de prévision se révèlent difficiles à préciser.

Plus nombreux sont les chercheurs (21,22) qui ont simplement mesuré l'écart entre la température minimale sous abri et au-dessus du gazon en fonction des conditions météorologiques, de l'état du sol, de l'occurrence de précipitations, etc...

Je reprends d'abord la démarche adoptée précédemment, l'analyse de régression, pour étudier la relation entre la température du thermomètre mouillé à 1600h et la température minimale au-dessus du gazon sur la base de la deuxième classification des conditions météorologiques durant la nuit.

Classe	N	\bar{x}	\bar{y}'	b	a	s^2	r^2	F
1a-1'a	143	8,80	-1,17	0,80	-8,23	2,77	0,70	323,52
1m-1'm	147	11,50	2,00	0,87	-8,03	2,21	0,76	457,91
2am	24	7,76	1,85	0,68	-3,43	4,92	0,50	21,68
3a-3'a	98	8,00	0,41	0,82	-6,13	2,65	0,75	281,83
3m-3'm	136	12,15	4,69	0,89	-6,08	3,41	0,65	252,60
4am	34	9,43	5,01	0,81	-2,50	3,57	0,76	99,52
4amf	19	10,19	2,84	0,98	-7,13	4,63	0,71	42,62
4amc	32	10,75	5,30	0,82	-3,49	3,87	0,65	56,39
5a-5'a	91	7,61	3,74	0,83	-2,56	4,77	0,58	121,36
5m-5'm	79	11,46	7,32	0,74	-1,14	3,30	0,53	88,32
6am	33	7,58	4,74	0,73	-0,79	2,67	0,69	69,10
6amf	53	10,98	5,58	0,92	-4,55	3,51	0,67	102,16
6amc	39	9,43	6,63	0,84	-1,28	1,73	0,78	129,38

Dans l'ensemble les variables sont moins bien corrélées et les variances significativement plus élevées. L'hypothèse du parallélisme des droites de régression se confirme au seuil de probabilité 0,05 (F calculé=0,76), la valeur de la pente commune est $b=0,8300$.

Il est donc possible de déterminer, avec une précision acceptable, la température minimale au-dessus du gazon à partir de la température du thermomètre mouillé à 1600h mais

il convient encore d'examiner si une méthode de prévision basée sur la comparaison des températures minimales sous abri et au-dessus du gazon ne donne pas de meilleurs résultats.

Je considère donc maintenant la différence moyenne (\bar{d}) des températures minimales relevées le même jour (température sous abri moins température au-dessus du gazon) selon les conditions météorologiques définies précédemment mais en tenant compte, dans les classes où le nombre de cas de précipitations supérieures à 1mm entre 1900h et 0700h le permet, de l'occurrence de précipitations.

Classe	Ppn	N	\bar{d}	s^2
1a-1'a		143	3,05	0,98
1m-1'm		147	3,25	0,59
2am		24	2,58	1,21
3a-3'a		98	3,15	0,82
3m-3'm		136	3,13	0,73
4am		33	1,34	1,03
4amf	non	10	2,77	1,38
	oui	9	1,53	2,11
4amc	non	25	3,82	2,07
	oui	7	2,30	0,36
5a-5'a	non	51	2,32	1,50
	oui	40	1,27	1,56
5m-5'm	non	46	2,27	0,90
	oui	33	1,21	0,86
6am	non	16	1,26	0,40
	oui	17	1,75	1,10
6amf	non	13	1,58	2,25
	oui	40	1,40	0,66
6amc	non	17	1,96	2,50
	oui	22	1,40	0,97

Selon le test de Bartlett, la variance au sein des différentes classes ne peut être considérée comme égale au seuil de probabilité 5% (χ^2 calculé=108,08); la dispersion des individus autour de leur moyenne est en général faible et démontre la possibilité d'une comparaison entre la température minimale sous abri et au-dessus du gazon.

Il reste encore à évaluer la valeur des différentes méthodes de prévision envisagées après les aménagements auxquels j'ai procédé (parallélisme des pentes, occurrence de précipitations):

- méthode A, prévision de la température minimale sous abri à partir de la température du thermomètre mouillé;
- méthode B, prévision de la température minimale au-dessus du gazon à partir de la température du thermomètre mouillé;
- méthode C, prévision de la température minimale au-dessus du gazon à partir de la température minimale sous abri prévue selon la méthode A et de la différence entre température sous abri moins température au-dessus du gazon.

Le paramètre de position M, moyenne arithmétique, indique la moyenne des écarts entre la température prévue et la température réelle; le paramètre de dispersion s, écart-type, indique la répartition des écarts autour de leur moyenne M. Il suffit donc de standardiser l'écart-type pour connaître, à l'aide d'une table de la répartition normale, le pourcentage d'individus compris entre certaines limites.

Classe	Méthode	N	M	s
1a-1'a	A	143	-0,00	1,33
	B		-0,00	1,66
	C		0,00	1,66
1m-1'm	A	147	0,00	1,22
	B		0,00	1,48
	C		0,00	1,49
2am	A	24	0,00	1,39
	B		0,00	2,22
	C		0,00	2,22
3a-3'a	A	98	-0,00	1,44
	B		-0,00	1,62
	C		0,00	1,62
3m-3'm	A	136	0,00	1,66
	B		0,00	1,85
	C		0,00	1,85
4am	A	34	-0,00	1,56
	B		-0,00	1,86
	C		0,00	1,86
4amf	A	19	-0,00	1,73
	B		0,00	2,15
	C		0,06	1,94
4amc	A	32	-0,00	1,57
	B		-0,00	1,94
	C		0,04	1,86

Classe	Méthode	N	M	s
5a-5'a	A	91	0,00	1,51
	B		0,00	2,17
	C		-0,03	1,75
5m-5'm	A	79	-0,00	1,19
	B		-0,00	1,82
	C		-0,01	1,65
6am	A	33	-0,00	1,54
	B		-0,00	1,65
	C		-0,07	1,63
6amf	A	53	0,00	1,42
	B		0,00	1,87
	C		0,14	1,87
6amc	A	39	-0,00	1,11
	B		-0,00	1,30
	C		0,05	1,34
Total	A	928	0,00	1,41
	B		0,00	1,76
	C		0,01	1,70

On note que la moyenne des écarts entre la température prévue et réelle est parfaitement centrée pour les méthodes de prévision A et B mais que la méthode C entraîne une légère déviation. L'adoption d'une pente commune exerce peu d'influence sur la dispersion tandis que seul le fait d'adopter une discrimination dans l'occurrence des précipitations améliore le résultat de la méthode C, que je retiens en définitive.

Contrôle des résultats obtenus en routine durant les mois d'avril et mai 1969 et 1970

J'ai travaillé jusqu'à maintenant en supposant connues les conditions météorologiques durant la nuit mais il faut maintenant simuler l'application en routine de la prévision de température sous abri (A) et au-dessus du gazon (C). L'estimation des conditions météorologiques (tirées de la prévision générale et locale de Genève-Cointrin) entraîne une diminution du taux de réussite de la prévision de la température dans une mesure qui dépend de la qualité des prévisions générales, de l'évolution de la situation dans son ensemble et de la fréquence de certaines situations. Les résultats tirés de l'échantillon dépendant 1969-1970 ne sont

pas forcément représentatifs d'une autre période, mais permettent néanmoins de se faire une idée de la qualité de la méthode appliquée en routine.

Température	N	M(°C)	s(°C)	Ecarte (%)		
				=1°C	=2°C	=3°C
sous abri (A)	121	-0,21	1,58	50	79	95
sur gazon (C)	121	0,01	2,07	45	71	88

Ces résultats peuvent être considérés comme excellents et ils soutiennent aisément la comparaison avec ceux obtenus par d'autres méthodes.

En conclusion j'espère que ce travail présente une approche concrète de la prévision de la température minimale durant les mois de printemps et apporte une contribution à l'étude des phénomènes qui lui sont liés.

Marche à suivre pour déterminer la température minimale

- 1) Mesurer la température du thermomètre mouillé sous abri à 1600h locales (T'16).
- 2) Déterminer à l'aide du graphique annexé le produit TT ($0,84 \times T'16$).
- 3) Prévoir les conditions météorologiques de la nuit:
 - nébulosité moyenne (octas)
 - vent moyen (noeuds)
 - changement de masse d'air
 - précipitations (lmm)
- 4) Soustraire à TT, selon les conditions météorologiques durant la nuit, la constante:
 - C 1 pour obtenir la température sous abri
 - C 2 pour obtenir la température au-dessus du gazon.

Table de C 1 et C 2 (°C)

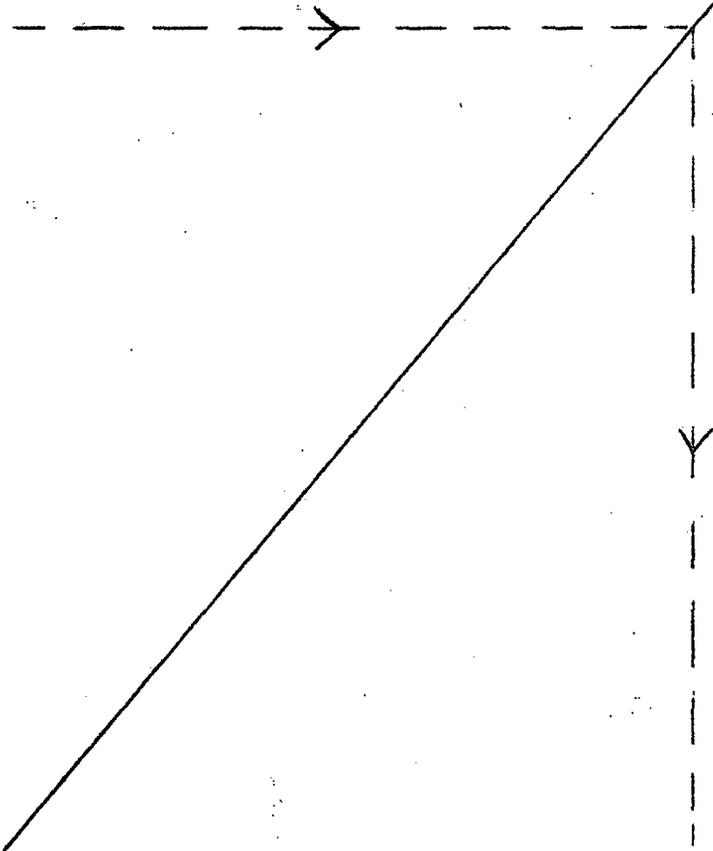
Mois	Nébulosité	Vent	Front	Ppn	C 1	C 2
avril	0-3	0-9	non	*	5,5	8,6
mai	0-3	0-9	non	*	4,4	7,7
avril+mai	0-3	>9	non	*	2,1	4,7
avril	4-6	0-9	non	*	3,2	6,4
mai	4-6	0-9	non	*	2,4	5,5
avril+mai	4-6	>9	non	*	0,6	2,0
avril+mai	4-6	*	froid	non	3,3	6,1
avril+mai	4-6	*	froid	oui	3,3	4,8
avril+mai	4-6	*	chaud	non	0,2	4,0
avril+mai	4-6	*	chaud	oui	0,2	2,5
avril	7-8	0-9	non	non	0,9	3,2
mai	7-8	0-9	non	oui	0,9	2,2
avril+mai	7-8	>9	non	non	0,3	1,6
avril+mai	7-8	>9	non	oui	0,3	2,1
avril+mai	7-8	*	froid	non	2,2	3,8
avril+mai	7-8	*	froid	oui	2,2	3,6
avril+mai	7-8	*	chaud	non	-0,4	1,6
avril+mai	7-8	*	chaud	oui	-0,4	1,0

* indique qu'une discrimination n'est pas nécessaire

T'16

20,0
19,0
18,0
17,0
16,0
15,0
14,0
13,0
12,0
11,0
10,0
9,0
8,0
7,0
6,0
5,0
4,0
3,0
2,0
1,0
0,0
-1,0

-1,0 0,0 1,0 2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0 9,0 10 11 12 13 14 15 16 17



Bibliographie

- 1) Primault B. Du risque de gel et de sa prévision. Publications de l'ISM 20, 1971.
- 2) Geiger R. The climate near the ground. Chap. 2, 7, 9, 1950.
- 3) Byers H.R. General meteorology, p 476, 1944.
- 4) Scharringa R. Sur l'importance du sol dans le bilan énergétique et le micro-climat en nuits calmes et claires. Rev. Phytoma 173, pp 39-41, 1965.
- 5) Saunders W.E. Night cooling under clear skies. Quart Jnl Roy met Soc, London, p 154, 1949.
- 6) Reuter H. Methoden und Probleme der Wettervorhersage, pp 145-151, Wien, 1954.
- 7) Met of London Pocketbook for forecasters, part 1, 1964.
- 8) Steele L.P. et Stroud P.A.J. et Virgo S.E. Accuracy of forecasting night minimum air temperatures by the method due to Saunders. Met mag of London 98, pp 107-113, 1969.
- 9) Kammermann M.A. Comparaison des indications du thermomètre à boule mouillée dans l'après-midi et le minimum de température. Arch.Sci.phys et nat 17, pp 436-448, Genève, 1887.
- 10) Karapiperis P.P. Predicting minimum temperature by the evening wet-bulb at Blue-Hill, Mass., in spring. Geofisica pura et appl. 24, pp 207-213, 1953.
- 11) Young F.D. Forecasting minimum temperatures in Oregon and California. Month Weath rew, suppl. 16, pp 53-63, 1920.
- 12) Lagard M. Organisation des alertes de gelées dans la région parisienne. Rev. Phytoma 172, pp 76-79, 1965.
- 13) Tinney E.B. et Menmuir P. Results of an investigation into forecasting night minimum screen temperatures. Met mag of London 97, pp 165-172, 1968.
- 14) Ritchie W.G. A comparison of the McKenzie and Saunders methods of forecasting night minimum screen temperatures. Met mag of London 100, pp 90-92, 1971.
- 15) O.M.M. Statistical analysis and prognoses in meteorology, TN 71, part 3, 1962.
- 16) Stringer E.T. Techniques of climatology, Chap. 4 et 5, San-Francisco, 1972.

Bibliographie (suite)

- 17) Arlery R. et
Dumont A.P. Comparaison des températures minimum au
sol et sous abri.
La Météorologie, pp 157-165, 1949.
- 18) Brazier C.-E. et
Eblé L. Introduction à l'étude des températures de
l'air et du sol au voisinage de la surface
terrestre.
La Météorologie 106, pp 97-110, 1934.
- 19) Vandenplas A. Comparaison des températures minima sous
abri et au voisinage immédiat du sol.
IRM3de Belgique, misc. XVI, 1951.
- 20) Lawrence E.N. Forecasting minimum grass and soil tempera-
tures under clear skies and light wind.
Met mag of London 89, p 33, 1960.
- 21) Steele L.P. et
Stroud P.A.J. et
Virgo S.E. An empirical approach to forecasting grass
minimum temperature and the probability of
grass min below 0°C in Eastern England.
Met mag of London 98, pp 340-348, 1969.
- 22) King E. Différences des températures entre 70 et
200cm au-dessus d'une surface gazonnée en
relation avec le type de temps.
Rev. Phytoma 172, pp 42-48, 1965.

