

Analyses sur les risques associés aux unités thermiques disponibles pour la production de maïs et de soya au Québec

Andrew Bootsma

Centre de recherches de l'Est sur les
céréales et oléagineux
Agriculture et Agroalimentaire Canada
Direction générale de la recherche
Ottawa (Ontario)

Gilles Tremblay

Centre de recherche sur les
grains inc. (CÉROM)
Saint-Bruno-de-Montarville
(Québec)

et

Pierre Filion

Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries
et de l'Alimentation du Québec
Huntingdon (Québec)

Bulletin technique

CRECO N° de contribution 991396-F

Cette étude a été réalisée grâce à l'aide financière de la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec et du Conseil des productions végétales du Québec inc., dans le cadre du Programme de partage des frais pour l'investissement en R et D d'Agriculture et Agroalimentaire Canada.

**Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux
Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada
1999**

On peut se procurer des exemplaires de cette publication auprès du :

Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux
Direction générale de la recherche, Agriculture et Agroalimentaire Canada
Édifice K.W. Neatby, FEC
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

© Ministre des Approvisionnements et des Services du Canada 1999
N° au catalogue A42-81/1999F
ISBN 0-662-84247-2

Also available in English under the title
Risk analyses of heat units available for corn and soybean production in Quebec

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES ANNEXES	vi
AVANT-PROPOS	vii
REMERCIEMENTS	viii
RÉSUMÉ	ix
INTRODUCTION	1
DONNÉES ET MÉTHODE	2
Choix des stations et données climatiques	2
Calcul des UTM à partir des données climatiques quotidiennes	2
Critères d'estimation de la date de début de la période d'accumulation des UTM	2
Critères pour estimer la date de fin de la période d'accumulation des UTM	6
Analyse de probabilité	8
Estimations des UTM à partir des normales	9
Cartographie des UTM	12
Rajustements apportés aux dates de début et de fin de la saison de croissance	12
RÉSULTATS ET DISCUSSION	13
Calculs annuels des dates de début et de fin et des UTM disponibles	13
Analyses de probabilité des dates de début et de fin et des UTM disponibles	16
Relations entre les dates de fin et le risque de gel	18
UTM basées sur les normales	19
Distribution géographique des UTM au Québec	19
Ajustements en fonction des dates de début et de fin de la saison de croissance	22
Représentativité des stations climatiques	25
CONCLUSION	27
BIBLIOGRAPHIE	27
ANNEXES	29

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Emplacement des 44 stations climatiques utilisées dans l'analyse des valeurs journalières des UTM	4
Figure 2. Réseau des stations climatiques ayant des données sur les normales pour la période de 1961 à 1990	10
Figure 3. Réseau des stations climatiques ayant des données sur les normales pour la période de 1951 à 1980	10
Figure 4a. Relation entre les UTM moyennes déterminées à partir des données quotidiennes (UTM_{moy}) et les UTM normales établies à partir des normales climatiques ($UTM_{normales}$), données de 1961-1990	11
Figure 4b. Relation entre les UTM à un niveau de probabilité de 80 % déterminées à partir des données quotidiennes ($UTM_{80\%}$) et les UTM normales établies à partir des normales climatiques ($UTM_{normales}$), données de 1961-1990	11
Figure 5. Carte des unités thermiques maïs (UTM) disponibles à un niveau de probabilité de 80 % (8 années sur 10) pour la culture du maïs-grain au Québec, période de 1961 à 1990	20
Figure 6. Relation entre les UTM disponibles en fonction des dates de fin établies à partir des critères « gel » et « grain 1 »	21
Figure 7. Carte des dates moyennes du début de la période d'accumulation des UTM pour le maïs au Québec	26
Figure 8. Carte des dates moyennes de la fin de la période d'accumulation des UTM pour le maïs-grain au Québec	26

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Liste des 44 stations climatiques et période d'enregistrement utilisée dans l'analyse des valeurs journalières des UTM	3
Tableau 2. Comparaison des dates d'ensemencement estimées et observées à 5 endroits en utilisant des données dépendantes	7
Tableau 3. Comparaison des dates de récolte moyennes du maïs-grain observées pour certaines régions/zones du Québec et des dates de fin de la période d'accumulation des UTM dans des stations climatiques représentatives	9
Tableau 4. Comparaison entre les dates de début et de fin déterminées par Dubé et coll. (1984) et celles utilisées dans la présente étude	14
Tableau 5. Comparaison entre les valeurs des UTM disponibles pour le maïs-grain déterminées par Dubé et coll. (1984) et celles utilisées dans la présente étude	15
Tableau 6. Valeurs des UTM dépassées 8 années sur 10 (probabilité de 80 %) à 44 endroits, période de 1961 à 1990	17
Tableau 7. Équations de régression reliant les UTM à un niveau de probabilité de 80 % déterminées à partir des données sur les normales aux valeurs des UTM moyennes et aux valeurs des UTM à certains niveaux de probabilité d'après les données quotidiennes	23
Tableau 8. Tableau des valeurs pour convertir des UTM du niveau de probabilité de 80 % à d'autres niveaux de probabilité	23
Tableau 9. Valeurs moyennes approximatives des UTM accumulées/jour au printemps et à l'automne pour des groupes spécifiques	24
Tableau 10. Définition des groupes ayant des UTM semblables/jour au printemps et à l'automne au tableau 9	24

LISTE DES ANNEXES

	Page
Annexe 1. Estimation des dates de début et de fin et des valeurs d'UTM accumulées par intervalles précis dans une année pour 44 stations climatiques.	29
Annexe 2. Estimation des dates de début et de fin et des valeurs d'UTM accumulées à certains niveaux de probabilité	85
Annexe 3. Probabilité que certaines valeurs seuils d'UTM accumulées jusqu'à la date de fin déterminée en fonction du critère grain 1 soient dépassées à certains endroits.	109
Annexe 4. Probabilité de la première baisse de température à -2 °C ou moins à l'automne pour 44 stations climatiques	111
Annexe 5. Estimation des dates de début et de fin et des valeurs d'UTM par saison d'après les données sur les normales climatiques	114
Annexe 6.1 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue	126
Annexe 6.2 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région de l'Outaouais au nord de la rivière Outaouais, du Pontiac jusqu'à Argenteuil	127
Annexe 6.3 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région de Montréal et au sud de Montréal, de la frontière de l'Ontario jusqu'à Trois-Rivières	128
Annexe 6.4 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans les Cantons de l'Est et dans la région au nord du fleuve Saint-Laurent, de Trois-Rivières à l'Île d'Orléans	129
Annexe 6.5 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région bordant le fleuve Saint-Laurent, de Québec à Mont-Joli	130
Annexe 6.6 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région du Lac-Saint-Jean et du Saguenay	131
Annexe 6.7 UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans la région de Gaspé, à l'est de Mont-Joli	132

AVANT-PROPOS

Le maïs et le soya, qui sont devenus d'importantes cultures au Québec, ont un potentiel de rendement élevé ou sont une source considérable de protéines, ou les deux. Le potentiel de production de ces cultures est lié à la quantité de chaleur disponible pendant la saison de croissance. Les unités thermiques maïs (UTM) sont utilisées pour caractériser la disponibilité de chaleur dans différentes régions de la province. Le Conseil des productions végétales du Québec inc. (CPVQ) utilise les valeurs des UTM pour évaluer ou recommander les hybrides et les variétés pouvant convenir à chacune des diverses régions de la province, tandis que la Régie des assurances agricoles du Québec (RAAQ) s'en inspire pour élaborer des programmes d'assurance-récolte appropriés.

De temps à autre, une mise à jour des valeurs des UTM s'impose en raison de la plus grande quantité de données climatiques disponibles. La dernière évaluation des UTM pour le Québec reposait principalement sur les données climatiques recueillies de 1970 à 1978. Ce bulletin technique présente une réévaluation des UTM disponibles, fondée sur une période d'enregistrement plus longue et plus récente (1961-1990). Il comporte en outre des informations plus détaillées sur les niveaux de probabilité ou de risque qu'auparavant. Il renferme des cartes plus précises, tracées à partir des analyses d'un plus grand nombre de stations climatiques maintenant disponibles et de cartes en courbes de niveau d'altitude numérisées des régions agricoles du Québec.

Nous espérons que les producteurs, les chercheurs, les vulgarisateurs agricoles et les administrateurs d'assurance-récolte se baseront sur l'information que nous présentons dans ce document pour prendre leurs décisions de gestion agricole.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec et le Conseil des productions végétales du Québec Inc. pour leur appui financier à notre étude.

De nombreuses autres personnes et agences ont contribué d'autres façons à ce projet. Nous tenons à remercier particulièrement René Audet du MAPAQ et Pierre-André Dubé de l'Université Laval, pour les conseils qu'ils nous ont fournis dans les premières étapes de planification du projet et pour avoir fait valoir la nécessité de notre étude. Nous sommes gré à Michel Duplessis et à Sylvain Payant, de Pioneer Hi-Bred Ltd., pour leur aide dans l'évaluation de certains des résultats.

Nos remerciements s'adressent également à Lise Bélanger et à Pierre Morissette de la RAAQ pour nous avoir fourni de nombreuses données sur les dates d'ensemencement et de récolte du maïs au Québec; ces renseignements nous ont permis de définir les critères servant à déterminer les dates de début et de fin de la période d'accumulation des UTM. Johanne Boisvert du Centre de recherche et de développement sur les sols et les grandes cultures, à Sainte-Foy, nous a fourni une aide précieuse pour obtenir du soutien financier pour le projet.

Les personnes suivantes nous ont aidés à choisir les stations climatiques utilisées dans l'analyse : L. Bélanger, C. Derome et P. Morissette de la RAAQ; R. Belzile, A. Brunelle, M. F. Clement, J. N. Couture et J. L. Dagenais du MAPAQ.

Nous avons pu compter sur le support technique efficace de Brian Francis et de Dirk Anderson d'AAC (CRECO) pour le traitement des données et la cartographie. La contribution précieuse de nombreux observateurs de la météo qui ont conservé religieusement des registres dans de nombreuses stations climatiques au Québec au fil des ans est grandement appréciée. Les données climatiques utilisées dans l'analyse ont été fournies en format électronique numérisé par Environnement Canada, Programme de l'environnement atmosphérique.

RÉSUMÉ

Dans cette étude, nous avons calculé les UTM disponibles pour la production de maïs et de soya à partir des données sur la température quotidienne relevée à 42 endroits au Québec et à deux endroits en Ontario. Nous avons effectué les calculs pour chaque année de données disponibles à chaque endroit. Nous avons cumulé les valeurs journalières des UTM à partir d'une date de début appropriée fixée pour chaque année à l'aide de critères climatiques. Nous avons établi ces critères en comparant les dates d'ensemencement observées du maïs avec les conditions climatiques (température et pluie) en mai. Nous avons cumulé les valeurs journalières jusqu'à trois dates de fin différentes, déterminées principalement selon la probabilité et/ou la présence effective de gel automnal à 0 et à -2 °C. Nous avons alors calculé les dates de début et de fin, ainsi que les UTM disponibles par saison à des niveaux de probabilité allant de 5 % (1 année sur 20) à 95 % (19 années sur 20) à la fois pour la période complète d'enregistrement à chaque station et pour la période de 1961 à 1990.

Nous avons mis au point une méthode pour estimer les UTM disponibles chaque saison en nous fondant sur les températures quotidiennes provenant des données sur les températures moyennes mensuelles de 30 ans. Nous avons pu ainsi déterminer les UTM disponibles chaque saison pour plus de 380 endroits au Québec, de même que pour des stations additionnelles en Ontario et au Nouveau-Brunswick situées près de la frontière du Québec. Cette plus grande densité de données des stations était nécessaire pour cartographier exactement les isolignes des UTM. Afin de faciliter davantage le travail de cartographie, nous avons numérisé les courbes de niveau d'altitude équidistantes de 152,4 m (500 pi) à partir de cartes topographiques et les avons superposées sur les cartes des valeurs des UTM. Nous nous sommes fortement inspirés de ces lignes pour effectuer l'interpolation des isolignes des UTM entre les stations climatiques.

Une carte des UTM disponibles à un niveau de probabilité de 80 % (c.-à-d., le cumul des UTM dépassées 8 années sur 10), a été préparée en utilisant la période de 1961 à 1990. Il s'agit du même niveau de probabilité à la base de la carte actuelle des UTM utilisée pour l'évaluation ou la recommandations en matière de cultures au Québec. En plus d'une simple carte couvrant la plupart des régions agricoles de la province, nous avons préparé des segments de carte pour des régions précises qui illustrent les valeurs des UTM avec infiniment plus de détails. Bien que les nouvelles valeurs des UTM de nombreuses régions ressemblent aux évaluations existantes pour la province, nous avons constaté des différences considérables à certains endroits. Par exemple, des endroits près du Lac-Saint-Jean, près de Montréal et au sud de Montréal avaient des valeurs d'UTM qui dépassaient les évaluations existantes, alors que certaines régions à l'est de Sherbrooke en comptaient moins qu'auparavant. Nous avons aussi présenté de l'information sur les valeurs moyennes des UTM accumulées au printemps et à l'automne afin qu'il soit possible de rajuster aisément les valeurs des UTM dans les cas où les dates de début et/ou de fin applicables diffèrent de celles utilisées dans notre étude.

Nos résultats devraient fournir un outil pour la prise de décisions relatives à la sélection des hybrides de maïs et de variétés de soya qui sont les mieux adaptés à chaque région. L'information sur les niveaux de risque ou de probabilité d'accumulation des UTM par zone permettra d'évaluer plus facilement la probabilité qu'auront des hybrides de maïs connus à atteindre une maturité physiologique acceptable avant la gelée meurtrière.

INTRODUCTION

La production de maïs-grain et de maïs-fourrage s'est accrue au cours des dernières décennies à un point tel au Québec que ces cultures fournissent une part très importante des aliments pour animaux produits dans la province. Selon les données du recensement de Statistique Canada¹, plus de 371 900 hectares de terres étaient consacrés à la production de maïs-grain et de maïs à ensilage au Québec en 1995. Les superficies allant à la production du soya ont également augmenté, les producteurs comptant de plus en plus sur cette culture comme source élevée de protéines. La production de soya, qui s'établissait à environ 25 000 ha en 1990, a considérablement progressé pour dépasser les 96 600 ha en 1995¹.

Le maïs et le soya sont deux cultures qui exigent une saison de croissance relativement longue et une grande quantité de chaleur pour atteindre leur maturité et fournir des rendements adéquats. Pour évaluer le potentiel de production, déterminer les risques associés à la production et choisir des hybrides/varieties convenant le mieux à chaque région, il faut connaître les unités thermiques disponibles dans une région donnée. Le système d'unités thermiques maïs (UTM), qui avait d'abord été mis au point par Brown (1963) en Ontario, a été utilisé pour recommander les hybrides de maïs pour la plupart des régions au Canada où le maïs est cultivé, ainsi que les variétés de soya dans certaines régions. En Ontario, on a remplacé les unités thermiques maïs par une nouvelle expression, soit les « unités thermiques des cultures » (Brown et Bootsma, 1993), étant donné que les mêmes unités sont utilisées à la fois pour les recommandations relatives au maïs et au soya.

La plus récente évaluation des UTM disponibles pour la production du maïs au Québec a été effectuée par Dubé et coll. (1984) et est fondée principalement sur 9 années ou moins de données climatiques recueillies entre 1970 et 1978

par 125 stations climatiques. Ces auteurs ont tracé une carte des UTM disponibles dépassées au moins 8 années sur 10 (probabilité de 80 %), sur laquelle le Conseil des productions végétales du Québec Inc. (CPVQ 1998) se fonde depuis pour recommander ou évaluer les hybrides de maïs convenant pour différentes zones d'unités thermiques.

L'arrivée sur le marché d'hybrides/de variétés plus précoces qui peuvent atteindre des niveaux de rendement acceptables dans des endroits où les unités thermiques sont relativement basses repousse continuellement les limites de la zone de production du maïs et du soya. Cette tendance sera probablement encore plus accentuée à l'avenir avec les efforts continus de sélection d'hybrides et de variétés adaptés à des régions de faibles unités thermiques. Bien que le Québec se situe à la limite septentrionale de la zone d'adaptation de ces cultures, il existe de nombreux secteurs agricoles dans la province où la valeur minimale d'unités des UTM exigée par le maïs et le soya est dépassée.

Ce bulletin technique présente les résultats d'une réévaluation des UTM disponibles pour la production du maïs et du soya au Québec, basée sur les normales climatiques de 30 ans les plus récentes disponibles (1961-1990). Des résultats sont également présentés pour l'entière période d'enregistrement de données climatiques disponibles de certaines stations. Aussi, les présentes analyses fournissent-elles des assises plus fiables que jamais pour évaluer les niveaux de risque et de probabilité associés aux UTM disponibles. En outre, comme nous disposons de données d'un plus grand nombre de stations climatiques qu'auparavant, nous avons pu tracer avec plus de fiabilité la carte de répartition des UTM pour la province. L'utilisation de cartes en courbes de niveau d'altitude numérisées pour les régions agricoles nous a également permis de cartographier les UTM avec plus de détails qu'auparavant. Cette réévaluation devrait par conséquent fournir de l'information plus précise sur laquelle fonder les recommandations en matière de cultures et les évaluations des risques associés à la production.

¹Statistique Canada, Recensement de l'agriculture de 1996, Ottawa (Ontario) Canada.

DONNÉES ET MÉTHODE

Choix des stations et données climatiques

Dans cette étude, nous avons choisi 42 stations climatiques au Québec et deux en Ontario (tableau 1, figure 1) pour lesquelles nous avons calculé les valeurs journalières des UTM à partir de données sur les températures maximales et minimales quotidiennes de l'air. L'emplacement des stations et la disponibilité des données pour la période normale de 1961 à 1990 ont guidé notre choix. Divers agronomes du Québec (voir la section des remerciements à la page vii) nous ont également conseillé sur les endroits les plus appropriés. La plupart des stations disposaient de données pour la totalité des 30 ans de la période normale ou pour une période plus longue. Nous avons calculé les UTM pour l'entière période d'enregistrement disponible pour chaque station allant jusqu'à la fin de 1996.

Nous avons obtenu des registres informatisés de données climatiques quotidiennes tenus par le Centre de recherches de l'Est sur les céréales et oléagineux, dans le cadre du Programme d'évaluation des terres d'AAC à Ottawa. Les données ont d'abord été obtenues sous format électronique d'Environnement Canada, Direction de l'information climatologique, Centre météorologique canadien, Downsview (Ontario) et ont été reformatées pour obtenir des registres de données quotidiennes. Les données manquantes ont été estimées à partir des registres de données climatiques de stations avoisinantes.

Calcul des UTM à partir des données climatiques quotidiennes

Notre méthode d'évaluation des UTM pour le Québec, à partir des données sur les températures quotidiennes, est entièrement décrite dans un rapport publié par Dubé et coll. (1984), aussi n'en répéterons-nous pas les détails dans le présent document. Les UTM représentent des valeurs dérivées de fonctions mathématiques qui décrivent le lien existant entre la température de l'air et le taux de développement de la plante. Des relations

distinctes sont utilisées pour la température maximale quotidienne (T_{\max}) et pour la température minimale quotidienne (T_{\min}). Notre méthode diffère de celle suivie par Dubé et coll., (1984) nos critères étant légèrement différents pour déterminer les dates de début et de fin de la période d'accumulation des valeurs journalières des UTM afin d'obtenir les valeurs saisonnières. Ces critères sont décrits en détail ci-après.

Nous avons utilisé l'équation des UTM pour calculer les valeurs journalières des UTM pour toutes les stations et pendant la période complète d'enregistrement de données figurant au tableau 1. Pour chaque année, nous avons cumulé les valeurs journalières à partir d'une date de début jusqu'à trois dates de fin différentes à l'automne à chaque endroit. La première date de fin correspond à la période où le risque de premier gel (baisse de la température à 0 °C) est important. La seconde date de fin concerne la date à laquelle le maïs-grain devrait avoir atteint la maturité (risque important d'une gelée meurtrière à -2 °C). La troisième date est la date effective de la première gelée meurtrière (-2 °C) après laquelle commence habituellement la récolte de grains. Les valeurs accumulées au milieu et à la fin de chaque mois à partir du 31 mai et pour la saison entière sont illustrées dans des tableaux.

Critères d'estimation de la date de début de la période d'accumulation des UTM

Nous avons défini des critères climatiques pour estimer une date de début convenable à partir de laquelle nous pouvions accumuler les UTM de chaque année. La température était le seul critère utilisé dans les évaluations antérieures des UTM au Québec et en Ontario pour établir les dates de début (Bootsma and Brown, 1995; Dubé et coll., 1984). Cependant, il est reconnu que les conditions d'humidité au printemps, de même que la température, peuvent avoir un effet considérable sur le moment propice à l'ensemencement du maïs au Québec. Par conséquent, nous avons adopté une méthode semblable à celle utilisée pour évaluer les UTM pour les provinces Maritimes (Bootsma, 1991).

Tableau 1. Liste des 44 stations climatiques et période d'enregistrement utilisée dans l'analyse des valeurs journalières des UTM.

N° station	N° SEA	Station/Emplacement	P. enreg.	N ^{bre} années
1	7038040	Shawville	1966-1996	31
2	6105976	Ottawa CDA	1890-1996	107
3	7033650	Lachute	1963-1996	34
4	6101958	Dalhousie Mills	1968-1996	29
5	701A9EC	Dalhousie Station	1976-1993	18
6	7017445	Saint-Lazare	1964-1984	21
7	7011947	Coteau-du-Lac	1967-1996	30
8	7026836	Saint-Anicet	1961-1996	36
9	7023240	Huntingdon	1952-1990	39
10	7025745	Ormstown	1964-1996	33
11	7028680	Valleyfield	1952-1996	45
12	7014290	Les Cèdres	1913-1996	84
13	7026839	Sainte-Anne-de-Bellevue	1941-1991	51
14	7027540	Sainte-Martine	1963-1996	34
15	7027690	Saint-Rémi	1963-1990	28
16	7027040	Sainte-Clothilde CDA	1947-1990	44
17	7023075	Hemmingford Four Winds	1961-1990	30
18	7020040	Abercorn	1951-1984	34
19	7022320	Farnham	1919-1996	78
20	7027517	Sainte-Madeleine	1980-1996	17
21	7026818	Saint-Amable	1980-1996	17
22	7028700	Verchères	1963-1996	34
23	7014160	L'Assomption CDA	1931-1994	64
24	7017380	Saint-Jacques	1971-1996	26
25	7010720	Berthierville	1920-1994	75
26	7022375	Fleury	1967-1996	30
27	7027361	Saint-Hyacinthe 2	1941-1996	56
28	7022160	Drummondville	1914-1996	83
29	7024280	Lennoxville CDA	1915-1995	81
30	7021840	Coaticook	1950-1996	47
31	7028441	Thetford Mines	1977-1996	20
32	7024250	Laurierville	1963-1996	34
33	7025440	Nicolet	1914-1996	83
34	7018000	Shawinigan	1911-1996	86
35	7016800	Saint-Alban	1950-1996	47
36	7011982	Deschambault	1977-1996	20
37	7016900	Saint-Augustin	1965-1989	25
38	7027840	Scott	1951-1996	46
39	7016294	Québec A	1943-1995	53
40	7054095	La Pocatière CDA	1931-1995	65
41	7058560	Trois-Pistoles	1952-1996	45
42	7055120	Mont-Joli A	1943-1996	54
43	7065960	Péribonka	1952-1996	45
44	7065640	Normandin CDA	1931-1991	61

*Correspond au numéro indiqué à la figure 1.

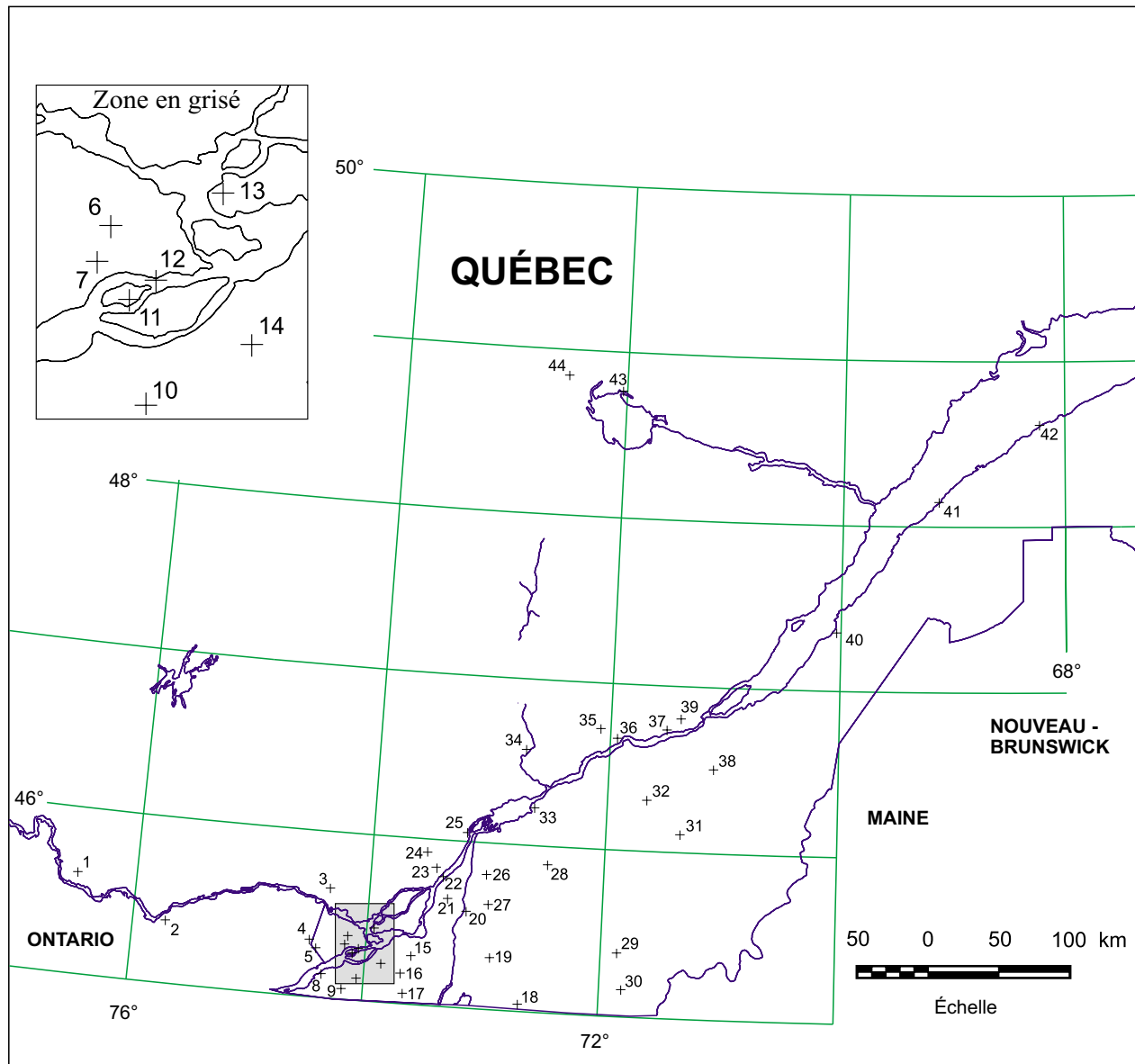


Figure 1. Emplacement des 44 stations climatiques utilisées dans l'analyse des valeurs journalières des UTM.

Nous avons défini des critères pour établir les dates de début de la période d'accumulation des UTM pour le Québec en comparant les observations sur la période à laquelle le maïs est semé à divers endroits avec des données climatiques. Ces dates d'ensemencement ont été gracieusement fournies par P. Morissette de la RAAQ (Régie des assurances agricoles du Québec, communication personnelle), les données provenant des sources suivantes : i) des données tirées du programme d'assurance pour le maïs-grain de la RAAQ par région et par zone, principalement pour 1981 à 1993, ii) des données recueillies lors d'essais au champ menés par le CPVQ, principalement entre 1984 et 1994; iii) les dates de semis pour les essais effectués par des producteurs pour le compte de Pioneer Hi-Bred Limited de 1991 à 1994. En outre, nous avons obtenu des dates d'ensemencement dans les essais sur le rendement du maïs hybride en Ontario réalisés par le Comité du maïs de l'Ontario à la Ferme expérimentale centrale à Ottawa de 1960 à 1993. Dans le cas des données du Québec, nous avons comparé les dates d'ensemencement avec les données climatiques des stations disponibles que nous considérons être les plus représentatives de la zone ou du comté duquel les dates avaient été obtenues.

La première étape pour déterminer le critère relié à la date de l'ensemencement a consisté à établir une valeur seuil pour la température moyenne quotidienne de l'air (T_{moy}) qui correspondait étroitement à la date moyenne d'ensemencement du maïs-grain. De notre comparaison entre les dates de semis de la RAAQ et les données sur les normales climatiques de 30 ans, nous avons constaté que cette température seuil était d'environ 12,8 °C. Cette température seuil est habituellement atteinte vers la mi-mai dans les régions du Québec où le maïs-grain est couramment cultivé. Cette date correspond à la date à laquelle environ 50 % de la culture a été ensemencée dans chaque région, plutôt que le moment du début des semis. Lorsque nous appliquons ce critère aux données climatiques de la station d'Ottawa CDA, nous obtenons la date du 14 mai comme date moyenne estimée d'ensemencement, soit 3 jours plus tôt que les

dates d'ensemencement moyennes effectives constatées dans les essais sur le rendement du maïs hybride en Ontario pendant 34 ans. Cependant, le maïs à ce site d'essai a généralement été ensemencé plusieurs jours plus tard qu'à la date optimale (Bob Hamilton, communication personnelle). La date estimée à Ottawa était également 2 jours plus tôt que la date d'ensemencement moyenne déterminée par le critère utilisé dans la dernière réévaluation des UTM en Ontario (Bootsma and Brown, 1995).

Les dates d'ensemencement moyennes dans les essais du CPVQ et de Pioneer étaient environ une semaine avant la date estimée à partir de la $T_{\text{moy}} \geq 12,8 \text{ °C}$. C'est-à-dire les dates d'ensemencement des essais du maïs correspondent plus étroitement à la période à laquelle les semis peuvent commencer plutôt qu'à la période à laquelle la moitié des superficies en maïs ont été ensemencées. Cependant, un ensemencement plus hâtif dans des essais du maïs pourrait également s'expliquer en partie par les différences dans les conditions du sol qui ne sont pas prises en compte par les critères de la température. Par exemple, les sols bien drainés ayant une texture plus sablonneuse seront probablement ensemencés plus tôt que ceux moins bien drainés et/ou ayant une teneur plus élevée en argile. Nous présentons dans un chapitre ultérieur une méthode pour rajuster les évaluations des UTM pour les dates d'ensemencement moyennes qui s'écartent des valeurs déterminées par ce critère. Nous avons considéré que le seuil de 12,8 °C était raisonnable compte tenu du fait qu'il correspondait bien aux dates d'ensemencement tirées des données de la RAAQ et qu'il était largement utilisé dans des études précédentes d'évaluation des UTM pour le Québec et l'Ontario (Brown, 1978; Dubé et coll., 1984). Cependant, il ne faudrait pas interpréter ce seuil comme correspondant à la date optimale d'ensemencement du maïs (qui est généralement plus hâtive), mais plutôt comme la date à laquelle environ la moitié de la culture de maïs a été ensemencée. Selon Dubé et coll. (1984), le seuil de 12,8 °C correspond à la période où la chaleur reçue est suffisante pour élever la température du sol à 10 °C, assurant ainsi la germination du maïs.

La seconde étape dans la définition des critères pour établir le début de la période d'accumulation des UTM a consisté à estimer l'écart annuel dans la date de début par rapport à la valeur « normale » prévue par le seuil de $T_{\text{moy}} \geq 12,8$ °C. Nous avons supposé qu'il était raisonnable d'assumer que les températures supérieures à la moyenne en mai favorisent probablement un ensemencement plus hâtif une année en particulier et que les précipitations supérieures à la moyenne le retardent probablement. Nous avons utilisé l'analyse de régression linéaire multiple séquentielle (SAS Institute Inc., 1985) pour étudier la relation entre les écarts observés dans les dates d'ensemencement par rapport à la moyenne (variable indépendante) et les écarts dans la température et les précipitations de mai par rapport à la normale (variables dépendantes). L'équation de régression suivante a été établie à l'aide de 84 années-stations de données provenant de 4 endroits fournies par la RAAQ et d'essais sur le rendement du maïs hybride à la Ferme expérimentale centrale d'Ottawa (FEC):

$$\Delta \text{Date} = -2,82 - 0,471(X_1) + 2,311(X_2)$$

dans laquelle ΔDate est la différence, en jours, entre la date d'ensemencement une année donnée et la date moyenne pour cet endroit en particulier (c.-à-d., une valeur négative indique un ensemencement plus tôt qu'à la date normale),

$X_1 = T_{\text{mai}} - \bar{T}_{\text{mai}}$ dans laquelle T_{mai} est la température de l'air moyenne en mai cette année-là et \bar{T}_{mai} est la moyenne de nombreuses années (°C),

$$X_2 = (P + 1,0)^2$$

dans laquelle $P = \frac{P_{\text{mai}} - \bar{P}_{\text{mai}}}{\bar{P}_{\text{mai}}}$

et dans laquelle P_{mai} correspond aux précipitations totales en mai cette année-là et \bar{P}_{mai} correspond aux précipitations moyennes à long terme en mai à cet endroit. (La valeur de 1,0 a été ajoutée à la valeur P pour garder

le terme positif avant la mise au carré.)

Cette équation avait un coefficient de détermination (R^2) de 0,34 et une erreur-type de l'estimation de 4,2 jours. La valeur relativement faible du coefficient de corrélation provient sans doute de différents facteurs, dont les suivants: i) les dates de semis sont probablement aussi influencées par des facteurs non climatiques telles les disponibilités de l'équipement et de la main-d'oeuvre ou des conditions pédologiques locales comme la texture et le drainage des sols; ii) les variations possibles des sources de données des dates de semis observées i.e. certaines provenant de parcelles expérimentales tandis que d'autres originent d'exploitations agricoles; iii) les stations météorologiques utilisées peuvent ne pas être totalement représentatives des endroits où les dates de semis ont été observées, particulièrement les précipitations mesurées; iv) ainsi que d'autres facteurs climatiques qui pourraient influencer les dates de semis estimées par ce critère. Le tableau 2 fournit un résumé des statistiques sur les dates d'ensemencement observées et estimées en fonction des données utilisées dans l'analyse de régression. La moyenne et la fourchette de dates d'ensemencement sont assez semblables à la fois pour les données observées et estimées. Les niveaux de précision obtenus sont acceptables pour une étude de ce genre, l'emphase étant mise bien plus sur l'évaluation des moyennes et des probabilités que sur l'obtention de valeurs précises pour une année particulière. Par conséquent, nous avons utilisé la méthode précédente pour estimer les dates de début annuelles de la période d'accumulation des UTM pour toutes les stations indiquées au tableau 1. La méthode était très semblable aux critères établis pour estimer les dates de début dans l'évaluation des UTM disponibles pour les provinces Maritimes (Bootsma, 1991).

Critères pour estimer la date de fin de la période d'accumulation des UTM

Nous avons utilisé les critères climatiques suivants pour mettre un terme aux accumulations des UTM :

Tableau 2. Comparaison des dates d'ensemencement estimées et observées à 5 endroits en utilisant des données dépendantes.

St. clim. /Emplacement	Source de l'information sur les dates d'ensemencement	Période d'enregistrement (N ^{bre} d'années)	Date observée		Estimation de régression	
			moyenne	fourchette	moyenne	fourchette
Fleury	RAAQ - R6, Z1*	1981-1993 (13)	17 mai	12 mai-1 ^{er} juin	17 mai	13-23 mai
L'Assomption	RAAQ - R6, Z2	1981-1993 (13)	17 mai	12 mai-1 ^{er} juin	17 mai	14-28 mai
Saint-Hyacinthe 2	RAAQ - R6, Z3	1983-1993 (11)	14 mai	10-18 mai	12 mai	9-21 mai
Sainte-Martine	RAAQ - R7, Z2	1981-1993 (13)	16 mai	5-25 mai	15 mai	12-20 mai
Ottawa CDA	Comité maïs de l'Ontario/Ottawa FEC	1960-1993 (34)	17 mai	8-29 mai	14 mai	10-24 mai

*R = Région; Z = Zone

i) La première date de fin (« gel ») a été déterminée en fonction de la date à laquelle il y avait une probabilité de 10 % d'une première gelée ($T_{\min} \leq 0$ °C) ou de la date effective de la première gelée (0 °C), selon la plus rapprochée de ces deux dates. Lorsque la date correspondant à la probabilité de 10 % n'était pas disponible, nous l'avons estimé par rapport à la date à laquelle la T_{\min} moyenne était ≤ 8 °C. Ces critères étaient semblables à ceux utilisés pour déterminer la date de fin en Ontario (Bootsma and Brown, 1995), sauf que nous utilisons une T_{\min} moyenne ≤ 8 °C plutôt qu'une T_{moy} moyenne ≤ 12 °C, étant donné que la première température était une meilleure estimation de la date à laquelle il y a une probabilité de 10 % de gel. Cela correspond à peu près à la période où le stade 50 % de ligne de maturité (ligne d'amidon) devrait être atteint (Filion et coll., 1988).

ii) La seconde date de fin (« Grain 1 ») a été déterminée en fonction de la date à laquelle il y avait une probabilité de 10 % d'une gelée meurtrière ($T_{\min} \leq -2$ °C) ou la première fois que la $T_{\min} \leq -2$ °C, selon la plus rapprochée de ces deux

dates. Lorsque la date de 10 % de probabilité n'était pas disponible, nous l'avons alors estimée par rapport à la date à laquelle la T_{\min} moyenne était $\leq 6,5$ °C. De nouveau, ces critères étaient semblables à ceux utilisés pour l'Ontario, sauf que le seuil de la T_{\min} moyenne $\leq 6,5$ °C a été utilisé au lieu de la T_{moy} moyenne ≤ 12 °C, puisqu'il s'agissait d'une meilleure estimation de la date à laquelle il y a une probabilité de 10 % de gel. Cela correspond à peu près à la période à laquelle les hybrides de maïs-grain qui conviennent à une zone d'unités thermiques particulière devraient avoir atteint la maturité. Après cette date, la teneur en matière sèche des grains reste stable ou augmente à peine. Cependant, les grains continuent de perdre de l'humidité pendant les jours suivants qui sont favorables à la déshydratation, par le processus d'assèchement à l'air. Nous avons considéré ce critère comme étant le plus approprié pour mettre un terme à l'accumulation des UTM pour la production de maïs-grain, tout en étant cohérent avec les méthodes actuellement utilisées pour évaluer les exigences en UTM des hybrides de maïs. Dans l'évaluation antérieure des UTM pour le Québec,

Dubé et coll. (1984) ont utilisé une température seuil de T_{\min} moyenne $\leq 5,8$ °C pour estimer la date de probabilité de 10 % de gel. Cependant, nous avons constaté que le seuil de 6,5 °C était plus exact. Par conséquent, les dates de fin estimées selon nos critères sont légèrement plus hâtives, en moyenne, que celles utilisées dans l'évaluation antérieure effectuée par Dubé et coll. (1984).

iii) Nous avons inclus un troisième critère (« récolte ») dans cette étude, pour déterminer la date de fin de la période d'accumulation des UTM la première fois que la $T_{\min} \leq -2$ °C (première gelée meurtrière) ou le 25 octobre, selon la plus rapprochée de ces deux dates. La date établie en fonction de ce critère était en moyenne plus tardive que la période à laquelle cessent les processus physiologiques dans la plante de maïs, mais s'approchait de la période à laquelle commence habituellement la récolte de maïs-grain.

En plus des critères susmentionnés, nous avons également accumulé les UTM jusqu'au milieu et jusqu'à la fin de chaque mois sans tenir compte des températures de gel, c.-à-d., les valeurs des UTM au 31 octobre correspondant à la somme des valeurs de tous les jours jusqu'à cette date, même s'il y avait déjà eu une gelée meurtrière (température de -2 °C ou moins).

Les comparaisons entre les dates de récolte observées du maïs-grain et les dates de fin moyennes déterminées en fonction des critères « grain 1 » et « récolte » sont illustrées au tableau 3. Les dates observées de récolte à la ferme ont été fournies par la Régie des assurances agricoles du Québec (RAAQ), par régions et par zones (P. Morissette, communication personnelle). Nous avons choisi une station climatique représentative pour chaque zone et cette station a servi à déterminer les dates de fin. D'après ces données, le maïs-grain est typiquement récolté de deux à quatre semaines après la date de fin déterminée en fonction du critère « grain 1 », et environ deux semaines après celle basée sur le critère « récolte ». Dans la région 6, zone 5, les dates de récolte étaient en

moyenne d'environ 2,5 semaines et 1 semaine plus tardives respectivement que les dates de fin déterminées en fonction des critères « grain 1 » et « récolte »; ce faible écart est attribuable au fait que les producteurs de cette zone cultivent des hybrides de maïs dont les exigences en UTM sont inférieures aux UTM disponibles, permettant ainsi une récolte plus hâtive (P. Morissette, communication personnelle).

Analyse de probabilité

Les valeurs annuelles des UTM accumulées entre les dates de début et de fin, telles que déterminées en fonction des critères décrits auparavant, ont été soumises à l'analyse statistique dans le but de déterminer les valeurs pour les niveaux de probabilité allant de 95 à 5 %. Nous avons trié les valeurs pour toutes les années disponibles. Nous avons ensuite calculé les probabilités pour chaque valeur triée (ordonnée) au moyen de l'équation suivante :

$$\text{Probabilité } P_k = \left(\frac{k}{N+1} \right) 100 \%$$

dans laquelle k est le numéro de rang, et N est le nombre total d'années où il y a eu des observations.

Nous avons calculé les valeurs des UTM et les dates de début et de fin pour des niveaux de probabilité de 95, 90, 75, 50, 25, 10 et 5 % par interpolation. Nous avons également déterminé les UTM à un niveau de probabilité de 80 %, puisque ce niveau de probabilité est utilisé dans les zones existantes des UTM pour le Québec (Dubé et coll., 1984). Au niveau de probabilité de 80 %, la valeur des UTM sera atteinte ou dépassée 80 années sur 100.

Nous avons également calculé la probabilité de dépassement de valeurs seuils choisies des UTM accumulées jusqu'à la date de fin déterminée en fonction du critère Grain 1. Ces valeurs seuils variaient entre 1 800 et 3 200 UTM par intervalles de 100 unités.

Tableau 3. Comparaison des dates de récolte moyennes du maïs-grain observées pour certaines régions/zones du Québec et des dates de fin de la période d'accumulation des UTM dans des stations climatiques représentatives.

Région/ Zone RAAQ	Date moyenne de la récolte ¹	N ^{bre} d'années d'obser- vation	Dates de fin ² d'accumulation des UTM		N ^{bre} de jours entre la date de fin et la récolte		Station climatique/ Emplacement représentant la zone
			Critères : Grain 1 « Récolte »		Critères : Grain 1 « Récolte »		
2-1	18 oct.	10	24 sept.	8 oct.	24	10	Deschambault
4-3	27 oct.	13	1 ^{er} oct.	15 oct.	26	12	Nicolet
6-2	18 oct.	12	27 sept.	5 oct.	21	13	Saint-Amable
6-3	21 oct.	11	28 sept.	15 oct.	23	6	Saint-Hyacinthe 2
6-5	14 oct.	11	27 sept.	8 oct.	17	6	Sainte-Madeleine
7-1	25 oct.	13	26 sept.	9 oct.	29	16	Coteau-du-Lac
7-3	25 oct.	13	28 sept.	12 oct.	27	13	Huntingdon
7-5	25 oct.	13	26 sept.	9 oct.	29	16	Sainte-Clothilde CDA
8-3	26 oct.	11	26 sept.	8 oct.	30	18	Lachute
11-1	28 oct.	12	1 ^{er} oct.	15 oct.	27	13	Nicolet
14-2	22 oct.	11	24 sept.	10 oct.	28	12	Farnham
Moyenne :			23 oct.	27 sept.	10 oct.	26	13

¹Dates moyennes des récoltes effectives à la ferme telles qu'observées par le personnel de la RAAQ (P. Morissette, communication personnelle). Ces dates sont généralement plus tardives que celles auxquelles sont prélevés les échantillons au champ par la RAAQ, à une période où l'on considère que le maïs-grain a atteint une maturité suffisante pour être récolté.

²Dates de fin tirées de l'annexe I, basées sur 30 ans de données recueillies entre 1961 et 1990, ou pendant la période complète d'enregistrement disponible si cette dernière est inférieure à 30 ans.

Estimations des UTM à partir des normales

Les données fournies par les 44 stations climatiques utilisées pour déterminer les UTM disponibles n'étaient pas suffisantes pour tracer des cartes de la répartition géographique des UTM dans les régions agricoles du Québec. Par conséquent, nous avons mis au point des méthodes pour estimer les UTM disponibles dans d'autres stations climatiques de la province pour lesquelles des données sur les températures moyennes mensuelles de 30 ans (également connues sous le nom de données sur les « normales ») étaient disponibles. Les normales mensuelles des

températures maximales et minimales moyennes et moyennes de l'air ont été extraites de 385 stations climatiques, pour la période normale de 1951 à 1980, et de 222 stations, pour la période normale de 1961 à 1990, dans les régions pertinentes du Québec. Pour la période de 1951 à 1980, nous avons également utilisé les données de 43 autres stations situées près de la frontière du Québec avec l'Ontario et avec le Nouveau-Brunswick.

Les données ont été fournies par Environnement Canada en format numérisé sur ruban magnétique pour la période de 1951 à 1980 (Environnement Canada, communication

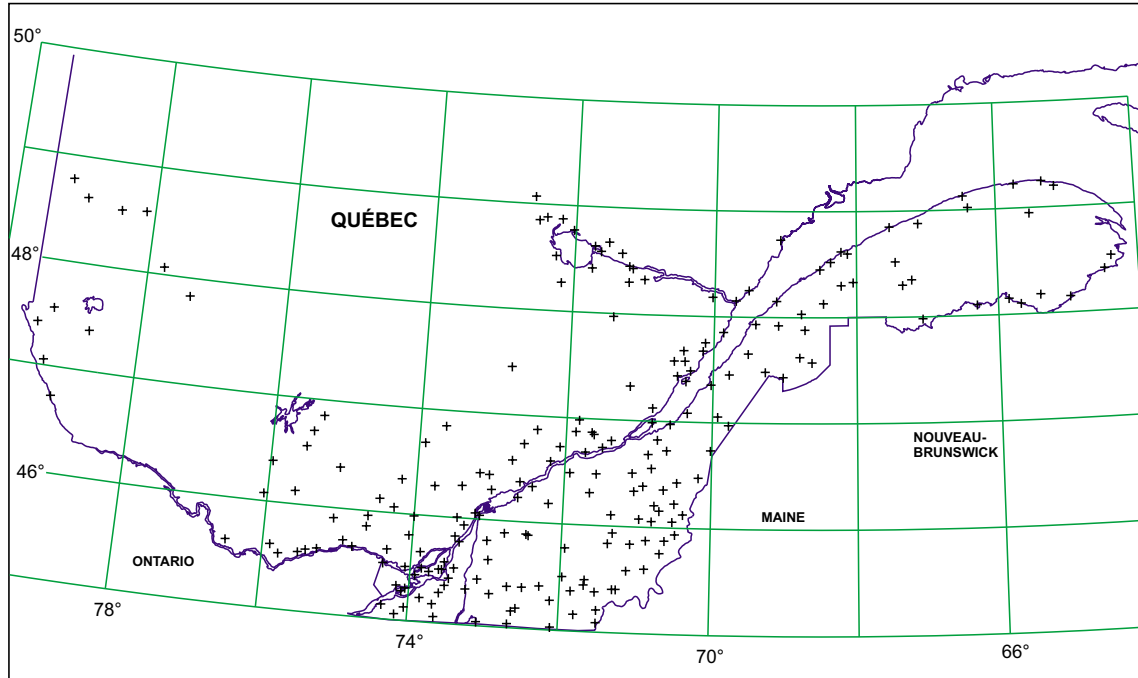


Figure 2. Réseau des stations climatiques ayant des données sur les normales pour la période de 1961 à 1990.

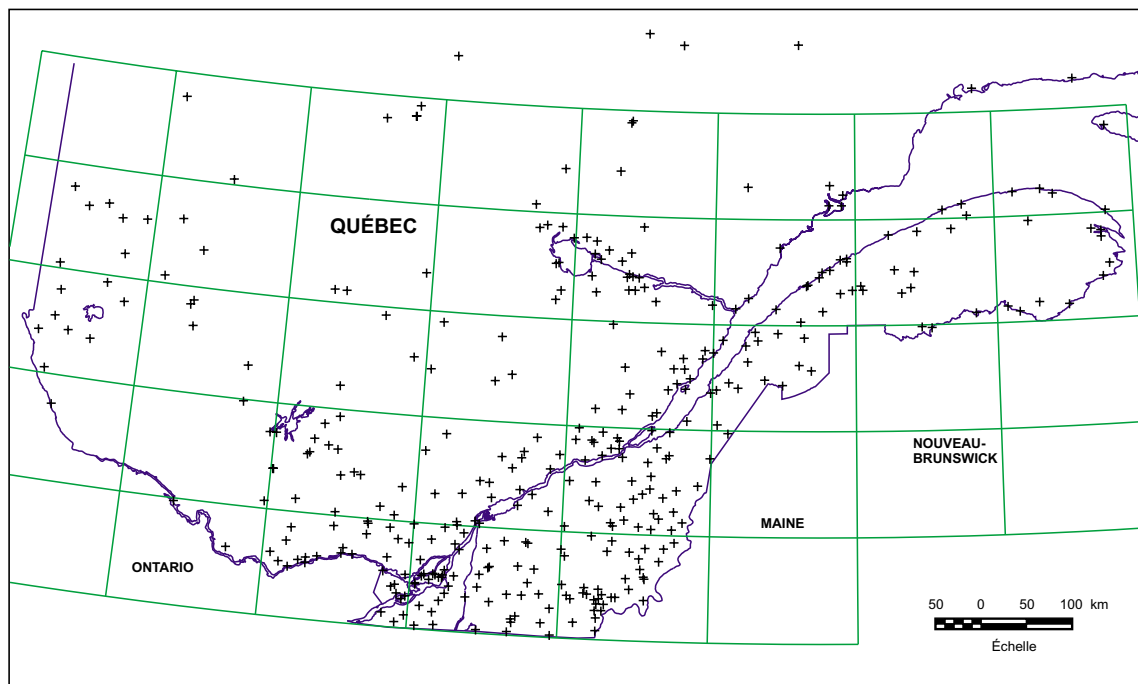


Figure 3. Réseau des stations climatiques ayant des données sur les normales pour la période de 1951 à 1980.

personnelle) et sur CD-ROM pour la période de 1961 à 1990 (Environnement Canada, 1994). La période de 1951 à 1980 comptait plus de stations en raison du fait qu'Environnement Canada a publié des normales rajustées pour les stations dont les enregistrements remontaient à moins de 20 ans. Les normales rajustées n'étaient pas disponibles pour la période de 1961 à 1990. La densité du réseau des stations climatiques ayant des données disponibles pour ces périodes normales est illustrée aux figures 2 et 3.

Nous avons utilisé les normales de température mensuelles pour toutes les stations afin d'obtenir les normales quotidiennes des températures maximales, moyennes et minimales de l'air (valeurs moyennes des T_{\max} , T_{moy} et T_{\min}) au moyen de la méthode d'interpolation de l'onde sinusoïdale de Brooks (1943). Nous avons ensuite calculé les UTM à partir des données sur les normales quotidiennes et les avons additionnées pour la saison de croissance à partir du jour où la moyenne des T_{moy} était $\geq 12,8$ °C au printemps jusqu'au jour où la moyenne des T_{moy} était $\leq 6,5$ °C à l'automne. Nous avons désigné la valeur saisonnière ainsi obtenue par UTM « normales »

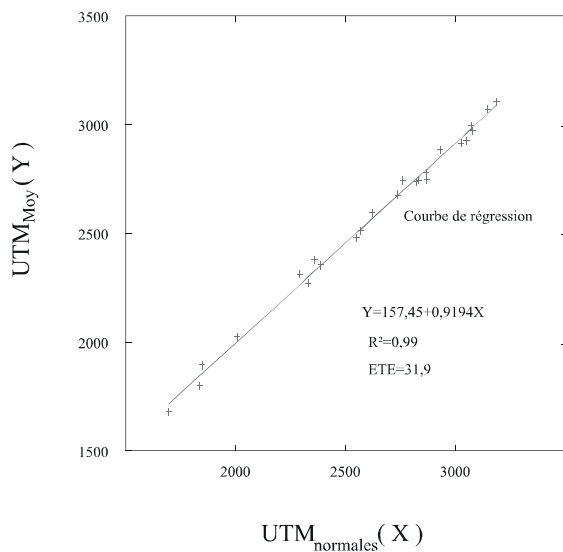


Figure 4a. Relation entre les UTM moyennes déterminées à partir des données quotidiennes (UTM_{moy}) et les UTM normales établies à partir des normales climatiques (UTM_{normales}), données de 1961-1990.

(UTM_{normales}). Nous avons relié les UTM moyennes (UTM_{moy}) et les UTM à un niveau de probabilité de 80 % ($UTM_{80\%}$) basées sur les calculs quotidiens à l'aide des dates de fin déterminées en fonction du critère Grain 1 aux valeurs des UTM_{normales} de la même période pour ces stations au moyen de l'analyse de régression linéaire. Nous avons utilisé à cette fin 24 stations qui avaient enregistré des données pendant toute la période de 30 ans entre 1961 et 1990. Les équations de régression obtenues étaient les suivantes :

$$UTM_{\text{moy}} = 157,45 + 0,9194 (UTM_{\text{normales}}) \quad (1)$$

$$(R^2 = 0,99 \text{ ETE} = 31,9 \text{ UTM})$$

$$UTM_{80\%} = 37,55 + 0,9297 (UTM_{\text{normales}}) \quad (2)$$

$$(R^2 = 0,99 \text{ ETE} = 34,7 \text{ UTM})$$

Nous avons ensuite utilisé ces équations pour estimer les UTM_{moy} et les $UTM_{80\%}$ à toutes les stations climatiques disponibles à partir des UTM_{normales} à la fois pour la période de 1951 à 1980 et celle de 1961 à 1990. Les graphiques de ces relations sont illustrés aux figures 4a et 4b.

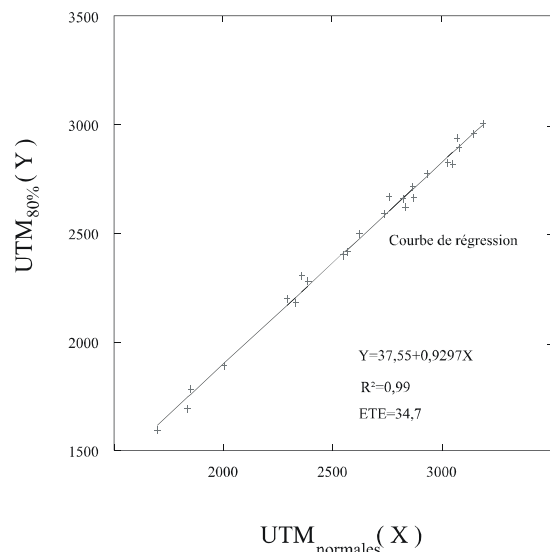


Figure 4b. Relation entre les UTM à un niveau de probabilité de 80 % déterminées à partir des données quotidiennes ($UTM_{80\%}$) et les UTM normales établies à partir des normales climatiques (UTM_{normales}), données de 1961-1990.

Cartographie des UTM

Afin de tracer des cartes des UTM disponibles pour les régions agricoles du Québec, nous avons numérisé, à l'aide du logiciel de SIG ARC/INFO¹, les courbes de niveau d'altitude équidistantes de 500 pi (152,4 m) tirées des feuillets cartographiques appropriées à une échelle de 1:500 000 provenant de la série nationale de référence cartographique produite par le ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources du Canada, Direction des levés et de la cartographie. Nous avons ensuite ramené ces cartes à une échelle de 1:1 000 000 et avons préparé des superpositions des UTM_{moy} et des $UTM_{80\%}$ aux stations climatiques telles qu'estimées par les équations (1) et (2), également avec le logiciel ARC/INFO. Des superpositions distinctes ont été préparées pour les UTM basées sur les périodes de 1951 à 1980 et de 1961 à 1990. Nous avons ensuite tracé les isolignes des UTM à la main, en s'appuyant fortement sur les courbes de niveau pour l'interpolation des valeurs entre les stations. Les cartes définitives ont été basées sur la période normale de 1961 à 1990. Cependant, nous avons utilisé des isolignes établies au moyen des données de 1951 à 1980 pour faciliter le tracé des lignes sur les cartes dans les endroits où l'on disposait de données de stations additionnelles pour cette période. Les cartes des UTM dessinées à la main ont ensuite été numérisées dans ARC/INFO et téléchargées dans le logiciel CorelDRAW² aux fins de correction et d'impression aux échelles illustrées dans ce rapport. Dans le cas de la carte de la province, nous avons procédé à un certain lissage des isolignes ce qui est considéré comme étant approprié pour cette échelle.

¹©Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York St., Redlands, California 92373-8100, USA.

²©Corel Corporation, 1600, av. Carling, Ottawa (Ontario) K1Z 8R7.

Rajustements apportés aux dates de début et de fin de la saison de croissance

Des différences dans les dates de début et de fin de la saison de croissance peuvent influencer sur les UTM effectivement disponibles dans un endroit particulier. Des facteurs locaux comme les conditions du sol peuvent soit retarder ou devancer les dates d'ensemencement. En outre, les conditions de gel automnal peuvent varier considérablement en raison d'effets locaux, ce qui pourrait influencer sur la fin appropriée de la saison de croissance. Afin de pouvoir rajuster les UTM disponibles en raison de dates de début et de fin différentes de celles utilisées dans cette étude, nous avons calculé les UTM moyennes qui s'accumulent par jour pendant des périodes de temps précises au printemps et à l'automne de l'année. Nous avons effectué ces calculs en utilisant les données sur les températures quotidiennes provenant de 34 stations qui comptaient plus de 20 années d'enregistrement de données dans la période de 1961 à 1990. Nous avons ignoré les critères de dates de début et de fin dans ces calculs. Par exemple, les UTM moyennes par jour pour la période du 11 au 20 octobre étaient basées sur toutes les journées de cette période même si les températures ont chuté sous le point de congélation. En ajoutant ou en soustrayant les UTM moyennes accumulées par jour pour la différence entre les dates de début et de fin réelles et estimées pour la saison de croissance à partir des évaluations des UTM, nous pouvons déterminer une valeur rajustée des UTM. Nous avons regroupé les stations dont le nombre d'UTM accumulées par jour étaient semblables et déterminé les valeurs moyennes pour chaque regroupement.

Afin de rajuster les évaluations des UTM basées sur différentes dates de début et de fin, il est nécessaire de connaître à peu près les dates utilisées dans cette étude. Par conséquent, les dates de début et de fin moyennes, telles que déterminées à l'aide des critères appliqués aux données sur les normales climatiques, ont été tracées sur les cartes et les lignes dessinées reliant les régions ayant les mêmes dates. Les dates de début moyennes basées

sur les normales climatiques étaient les mêmes que celles établies à partir des données quotidiennes. Les dates de fin moyennes basées sur les données des normales étaient également très semblables aux dates déterminées à partir des calculs quotidiens, sauf pour les stations dans les régions « côtières » bordant le bas du fleuve Saint-Laurent (c.-à-d., La Pocatière CDA, Mont-Joli A et Trois-Pistoles). Les dates pour ces stations étaient environ 11 à 13 jours plus tôt que les dates calculées à partir des données sur les températures quotidiennes. Cet écart était fort probablement attribuable au fait que, dans ces endroits, les dates de gel automnal sont plus tardives par rapport à la T_{\min} moyenne en raison de l'influence modératrice des grandes masses d'eau sur la température minimale les nuits où il y a typiquement du gel.

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Calculs annuels des dates de début et de fin et des UTM disponibles

Les UTM déterminées à partir des données sur la température quotidienne enregistrées à 44 endroits énumérés au tableau 1 sont présentées à l'annexe 1. Pour chaque année, la date de début, trois dates de fin et les UTM accumulées sont illustrées. Les moyennes et les écarts-types (ET) sont indiqués pour la période complète d'enregistrement pour chaque station et pour la période de 1961 à 1990 dans le cas des stations dont les registres sont complets pour les 30 ans de cette période.

L'écart-type donne une indication de la variation annuelle des UTM disponibles. Si nous supposons que les UTM sont normalement distribuées dans le temps, alors environ 95 % des observations (19 années sur 20) se situeront à l'intérieur de ± 2 écarts-types de la moyenne. En d'autres mots, les valeurs des UTM seront, en moyenne, 1 année sur 40, inférieures de 2 écarts-types ou plus à la valeur moyenne. De même, environ 8 années sur 10, les valeurs des UTM se situeront à $\pm 1,3$ écart-type de la moyenne. Par conséquent, en moyenne, les valeurs des UTM seront, environ 1 année sur 10, inférieures de plus de 1,3 écart-type et, 1 année sur 10, supérieures de plus de 1,3 écart-type à la valeur moyenne des UTM.

Il arrive souvent que les UTM accumulées pendant de courtes périodes (p. ex., jusqu'aux dates de fin de mai ou de juin) s'écartent d'une distribution normale (de Gauss); par conséquent, ces statistiques peuvent ne pas s'appliquer très bien à ces dates. Les UTM accumulées sur des périodes plus longues peuvent également s'écarter quelque peu de la normale à certains moments; il peut donc être préférable d'utiliser des valeurs de probabilité basées sur les données réelles pour les cumuls annuels des UTM, lesquelles sont présentées dans la prochaine section.

Les dates de début et de fin de la période d'accumulation des UTM étaient basées sur les critères décrits dans la section sur la méthode. Les dates de début moyennes variaient du 12 mai à Saint-Hyacinthe au 6 juin à Mont-Joli. Les dates de fin basées sur le critère « gel » variaient du 25 août à Normandin et à Péribonka au 29 septembre aux Cèdres. Les dates de fin moyennes de la saison de croissance du maïs-grain (critère Grain 1) allaient du 7 septembre à Normandin au 8 octobre aux Cèdres.

Il est intéressant de savoir comment les dates de début et de fin et les valeurs des UTM calculées dans cette étude se comparent aux valeurs déterminées antérieurement par Dubé et coll. (1984). Les différences pourraient être attribuables aux i) méthodes légèrement différentes utilisées dans la détermination des dates de début et de fin et à ii) l'utilisation d'une période différente dans la détermination des dates et des valeurs des UTM.

Au tableau 4, les dates de début et de fin moyennes déterminées dans cette étude ont été comparées à celles utilisées par Dubé et coll. (1984) à 10 endroits. Les différences basées sur la période de 1970-1978 s'expliquent uniquement par la variation dans les méthodes utilisées, puisque la période d'enregistrement est la même dans les deux cas. Les différences entre les résultats obtenus par Dubé et coll. (1984) et ceux de la présente étude pour la période de 1961-1990 découlent de différences dans la méthode et dans la période d'enregistrement. L'écart le plus important dans la date de début moyenne était de 3 jours à Normandin. La Pocatière et Sainte-Martine

Tableau 4. Comparaison entre les dates de début et de fin déterminées par Dubé et coll. (1984) et celles utilisées dans la présente étude.

Dates du début moyennes (mois/jour)/ (Écart-type (jours))					Dates de fin moyennes (mois/jour)			
Période :	1970-1978		1961-1990 [†]		1970-1978		1961-1990 [‡]	
Station/Emplacement	Dubé et coll.		Bootsma		Dubé et coll.	Bootsma [‡]		
Farnham	05/17	S.O.	05/16	-	05/16	10/05	09/24	09/24
L'Assomption	05/17	S.O.	05/17	-	05/17	09/30	09/24	09/24
La Pocatière*	05/28	-4,98	05/30	-2,73	05/29	09/25	10/04	10/04
Lennoxville*	05/19	-5,4	05/21	-3,24	05/20	09/27	09/21	09/21
Normandin*	06/02	-5,5	06/05	-3,64	06/05	09/07	09/07	09/07
Shawville	05/18	S.O.	05/19	-	05/20	09/23	09/15	09/15
Saint-Augustin*	05/21	-4,86	05/23	-2,71	05/23	09/28	09/28	09/29
Sainte-Anne-de-Bellevue*	05/15	-6,36	05/14	-2,53	05/14	10/06	10/01	10/01
Sainte-Clothilde	05/17	S.O.	05/16	-	05/16	10/04	09/26	09/26
Sainte-Martine	05/16	S.O.	05/15	-	05/15	10/06	09/27	09/27
Moyenne :	05/20	5,42	05/21	2,97	05/21	09/28	09/24	09/24

*Les données pour la période de 1970 à 1978 dans le cas des stations/endroits marqués d'un astérisque sont basées sur l'annexe 6 de la publication de Dubé et coll. (1984), dans laquelle 8 années de données sont utilisées (à l'exception de 1977), sauf pour Saint-Augustin, qui comptait 9 années de données. Les données de toutes les autres stations sont basées sur l'annexe 5 tirée de Dubé et coll. (1984).

[†] La période d'enregistrement dans le cas des stations comptant moins de 30 ans d'enregistrement dans la période de 1961 à 1990 est telle qu'illustrée au tableau 1.

S.O. = sans objet.

[‡] Basé sur le critère « grain 1 » utilisé pour déterminer la date de fin.

affichaient la différence la plus marquée (± 9 jours) dans les dates de fin moyennes. La Pocatière était le seul des 10 endroits où la date de fin moyenne était significativement plus tardive que celle de Dubé et coll. (1984). Dans la plupart des autres endroits, les dates de fin étaient significativement plus hâtives dans notre étude, puisque nous avons utilisé le seuil de 6,5 °C pour la T_{\min} au lieu de 5,8 °C, qui a été utilisé par Dubé et coll. (1984) (voir la page 8). La moyenne pour les 10 stations des dates de début différait seulement d'un (1) jour. Cependant, les dates de fin pour ces mêmes

endroits étaient en moyenne 4 jours plus hâtives dans notre étude.

Bien que les dates de début moyennes aient été très semblables à celles de Dubé et coll. (1984), il y avait significativement moins de variation annuelle dans les dates que nous avons utilisées. Les écarts-types pour les dates de début dans la période de 1970 à 1978 étaient environ de 3 jours comparativement à 5 ou 6 jours dans l'étude de Dubé et coll. (1984) (tableau 4). Les écarts-types pour les dates de fin étaient de 7 à 10 jours dans

Tableau 5. Comparaison entre les valeurs des UTM disponibles pour le maïs-grain déterminées par Dubé et coll. (1984) et celles utilisées dans la présente étude.

UTM moyennes/(écart-type)			UTM à un niveau de probabilité de 80 %			
Période :	1970-1978		1961-1990 [†]	1970-1978 ^{††}		1961-1990 [†]
Station/Emplacement	Dubé et coll.	Bootsma	Bootsma	Dubé et coll.	Bootsma [‡]	Bootsma [‡]
Farnham	2 924 (201,0)	2 791 (96,6)	2 746	2 747	2 706	2 664
L'Assomption	2 795 (154,5)	2 727 (107,2)	2 677	2 659	2 632	2 590
La Pocatière*	2 302 (194,8)	2 367 (133,8)	2 311	2 131	2 249	2 199
Lennoxville*	2 614 (169,2)	2 550 (71,2)	2 480	2 465	2 488	2 398
Normandin*	1 800 (235,0)	1 762 (154,5)	1 679	1 593	1 626	1 592
Shawville	2 530 (172,5)	2 424 (113,1)	2 384	2 378	2 324	2 287
Saint-Augustin*	2 537 (146,0)	2 518 (89,5)	2 483	2 407	2 438	2 423
Sainte-Anne-de-Bellevue*	3 039 (239,0)	3 054 (135,1)	2 995	2 829	2 935	2 937
Sainte-Clothilde	2 879 (195,5)	2 811 (107,7)	2 778	2 707	2 716	2 711
Sainte-Martine	3 028 (209,3)	2 927 (117,3)	2 875	2 844	2 824	2 780
Moyenne :	2 645 (199,7)	2 593 (96,5)	2 541	2 476	2 494	2 458

*Les données pour la période de 1970-1978 dans le cas des stations/endroits marqués d'un astérisque sont basées sur l'annexe 6 de la publication de Dubé et coll. (1984), dans laquelle 8 années de données sont utilisées (à l'exception de 1977), sauf pour Saint-Augustin, qui comptait 9 années de données. Les données de toutes les autres stations sont basées sur l'annexe 5 tirée de Dubé et coll. (1984).

[†] La période d'enregistrement pour les stations ayant moins de 30 années de données dans la période de 1961 à 1990 est illustrée au tableau 1.

^{††} Nous avons établi les valeurs des UTM à un niveau de probabilité de 80 % pour cette période en utilisant l'écart-type et en supposant une distribution normale, comme l'a fait Dubé et coll., 1984.

[‡] Basé sur le critère « grain 1 » utilisé pour déterminer la date de fin.

l'étude de Dubé et coll. (1984), alors que, dans notre étude, les dates de fin étaient semblables la plupart des années puisqu'elles étaient surtout basées sur la date de 10 % de risque de gel, critère semblable à celui utilisé dans les méthodes suivies pour l'évaluation des UTM en Ontario.

Les comparaisons entre les UTM (valeurs moyennes et valeurs à un niveau de probabilité de 80 %) déterminées par Dubé et coll. (1984) et

celles de notre étude sont illustrées au tableau 5 pour les 10 mêmes endroits qu'au tableau 4. La moyenne pour les 10 stations des UTM moyennes pendant la période de 1970 à 1978 (différence uniquement attribuable aux méthodes) était inférieure de 52 UTM dans notre étude. Cependant, lorsque les différences attribuables à la période d'enregistrement étaient prises en compte, la moyenne pour les 10 stations dans notre étude était inférieure de 104 UTM, indiquant que la période

de 1970 à 1978 était, en moyenne, plus chaude que la période normale de 30 ans de 1961 à 1990.

Les UTM à un niveau de probabilité de 80 % pour la période de 1970 à 1978 étaient supérieures de 18 UTM en moyenne pour les 10 stations comparativement aux résultats obtenus par Dubé et coll. (1984). Nous expliquons cet écart par le fait que les valeurs annuelles des UTM variaient moins dans notre étude, comme en font foi les valeurs inférieures de l'écart-type (ET). Nous avons obtenu directement de l'écart-type les valeurs des UTM à un niveau de probabilité de 80 % pour cette période, en supposant une distribution normale (Dubé et coll., 1984). Lorsque les différences attribuables à la période d'enregistrement étaient prises en compte dans la comparaison, alors la moyenne pour les 10 stations n'était plus inférieure que de 18 UTM dans la présente étude. En raison de la moins grande variabilité dans les valeurs annuelles des UTM, l'écart est moins grand entre la valeur des UTM moyennes et celle des UTM à un niveau de probabilité de 80 % dans notre étude que dans les analyses de Dubé et coll. (1984). Cette variabilité moins importante dans les UTM peut s'expliquer en grande partie par la moins grande variation dans les dates du début et de fin de la saison de croissance dans notre étude. Cependant, une partie des différences peut aussi être attribuable au fait que les valeurs annuelles des UTM s'écartent souvent quelque peu d'une distribution normale.

Étant donné que notre méthode pour estimer la date de début de la saison de croissance ressemblait beaucoup à celle suivie pour évaluer les UTM dans les provinces Maritimes (Bootsma, 1991), les écarts-types dans les dates de début et les valeurs saisonnières des UTM avaient tendance à être semblables aux résultats obtenus pour les Maritimes.

Analyses de probabilité des dates de début et de fin et des UTM disponibles

Les résultats des analyses statistiques qui ont servi à calculer les UTM disponibles à certains niveaux de probabilité aux 44 endroits indiqués au tableau 1 sont présentés à l'annexe 2. Les valeurs

à la fois pour la période complète d'enregistrement et la période de 30 ans de 1961 à 1990 sont illustrées là où il y a lieu. Les dates de début et de fin sont les mêmes ou plus tardives que les valeurs indiquées à un niveau de probabilité donné. Par exemple, à Huntingdon, il y a une probabilité de 90 % que la période d'accumulation des UTM débute le 10 mai ou après cette date. À l'inverse, la date de début sera devancée une année sur 10 (probabilité de 10 %). La période d'accumulation des UTM pour le maïs-grain (critère grain 1) à Huntingdon prend fin le 25 septembre ou après cette date dans 95 % des années (19 années sur 20). La fin de la période d'accumulation dans le cas du maïs-grain à Huntingdon n'arrive jamais plus tard que le 28 septembre, étant donné qu'il s'agit de la date de la probabilité de 10 % d'une première chute de température à -2 °C.

Les valeurs des UTM illustrées sont celles qui sont égalées ou dépassées au niveau de probabilité donné. La station de Huntingdon a une moyenne de 2 926 UTM disponibles pour la production du maïs-grain (basée sur la période de 1961 à 1990). À un niveau de probabilité de 90 % (9 années sur 10), les UTM disponibles sont égales ou supérieures à 2 733 unités. À l'inverse, une année sur 10, il y aura moins de 2 733 UTM à Huntingdon.

L'annexe 2 permet à l'utilisateur de choisir le niveau de risque le plus approprié pour fonder ses décisions de gestion. Les niveaux de probabilité de 95 à 75 % conviennent habituellement le mieux. Les cartes actuelles de distribution des UTM disponibles pour le Québec utilisent des valeurs au niveau de probabilité de 80 % (valeurs égalées ou dépassées 8 années sur 10) pour évaluer les zones d'accumulation des UTM. Cependant, comme les valeurs au niveau de probabilité de 80 % n'avaient pas été calculées au moment de la production de l'annexe 2, elles ont été établies séparément et sont énumérées au tableau 6. À Huntingdon, 2 817 UTM sont disponibles à ce niveau de probabilité (période de 1961 à 1990). Dans le cas des 44 stations utilisées dans les analyses quotidiennes, les UTM à un niveau de probabilité de 80 % varient d'un minimum de 1 592 à Normandin à un maximum de 3 003 à Valleyfield.

Tableau 6. Valeurs des UTM dépassées 8 années sur 10 (probabilité de 80 %) à 44 endroits, période de 1961 à 1990.[†]

N° de la station [‡]	Station/Emplacement	UTM (80 %)	N° de la station [‡]	Station/Emplacement	UTM (80 %)
18	Abercorn	2 326	2	Ottawa CDA	2 892
25	Berthierville	2 620	43	Péribonka	1 693
30	Coaticook	2 414	39	Québec A	2 303
7	Coteau-du-Lac	2 665	38	Scott	2 280
4	Dalhousie Mills	2 518	34	Shawinigan	2 497
5	Dalhousie Station	2 666	1	Shawville	2 287
36	Deschambault	2 423	35	Saint-Alban	2 180
28	Drummondville*	2 774	21	Saint-Amable	2 724
19	Farnham	2 664	8	Saint-Anicet	2 823
26	Fleury	2 597	37	Saint-Augustin	2 423
17	Hemmingford Four Winds	2 659	27	Saint-Hyacinthe 2	2 893
9	Huntingdon	2 817	24	Saint-Jacques	2 611
23	L'Assomption CDA	2 590	6	Saint-Lazare*	2 280
40	La Pocatière CDA	2 199	15	Saint-Rémi	2 794
3	Lachute	2 566	13	Sainte-Anne-de-Bellevue	2 937
32	Laurierville	2 274	16	Sainte-Clothilde CDA	2 711
29	Lennoxville CDA	2 398	20	Sainte-Madeleine	2 756
12	Les Cèdres*	2 958	14	Sainte-Martine	2 780
42	Mont-Joli A	1 781	31	Thetford Mines	2 189
33	Nicolet*	2 667	41	Trois-Pistoles	1 890
44	Normandin CDA	1 592	11	Valleyfield*	3 003
10	Ormstown	2 760	22	Verchères	2 796

[†] La période d'enregistrement illustrée au tableau 1 a été utilisée si la station comptait moins de 30 années de données dans la période 1961 à 1990.

[‡] Correspond au numéro de la station indiqué à la figure 1.

*Ces stations ne représentent peut-être pas adéquatement les zones de culture du maïs avoisinantes en raison de facteurs locaux. Voir la discussion détaillée à la page 25.

L'annexe 3 expose la probabilité que les UTM disponibles pour la production de maïs-grain dépassent les valeurs seuils désirées. Là où il y a lieu, les résultats sont illustrés à la fois pour la période de 30 ans de 1961 à 1990 et l'entière période d'enregistrement. Ce type d'information peut aider les producteurs à répondre aux questions du genre : « À quelle fréquence puis-je m'attendre à ce que ma région reçoive plus de 2 600 UTM (ou n'importe quelle autre valeur seuil choisie)? ». Par exemple, à Huntingdon, il y

a une probabilité de 23 % (23 années sur 100) que les valeurs saisonnières dépasseront 3 000 UTM. Le producteur peut ainsi déterminer le risque qu'un hybride de maïs choisi puisse ne pas atteindre la pleine maturité avant le gel. Par exemple, à Farnham (en se basant sur les données de 1961-1990), l'un pourrait s'attendre qu'un hybride de maïs exigeant 2 600 UTM puisse atteindre une maturité convenable environ 90 % du temps. En d'autres mots, environ 10 % du temps ou une année sur 10, cet hybride peut ne

pas atteindre un niveau souhaitable de maturité avant le gel.

Relations entre les dates de fin et le risque de gel

L'arrivée de la première gelée automnale a une importance considérable pour la production du maïs (à la fois le maïs à ensilage et le maïs-grain) et du soya. La chute de température au point de congélation entraîne généralement une réduction partielle ou complète de la capacité de la plante à produire de la matière sèche par le processus de la photosynthèse. Dans le cas du maïs, le premier gel (p. ex., à une température de 0 °C) peut endommager certaines feuilles exposées, mais pourrait encore permettre une certaine activité photosynthétique et certainement la translocation de la matière sèche vers les grains. Par contre, un gel sévère (p. ex., à -2 °C) détruira probablement la majorité de la plante de maïs et entraînera une perte complète de sa capacité de photosynthèse ou de translocation de ses produits des feuilles et de la tige vers les grains. Diverses études scientifiques ont révélé qu'à la fois le rendement et la qualité du maïs à ensilage ont tendance à diminuer après la destruction de la plante par le gel (White, 1978). Alors qu'une gelée meurtrière met probablement un terme aux processus physiologiques de la plante de maïs, le processus d'assèchement à l'air des grains du maïs-grain se poursuivra pendant un certain temps après le gel.

Comme le gel est un facteur très important dans la production à la fois du maïs et du soya, de l'information détaillée sur la probabilité du premier gel à -2 °C à l'automne est présentée à l'annexe 4. Nous avons calculé ces valeurs en extrayant la date du premier gel pour chaque année dans la base de données sur CD-ROM d'Environnement Canada (Environnement Canada, 1997). Nous avons utilisé une période de 29 ans (1962-1990), lorsqu'elle était disponible, pour simplifier l'interpolation des dates aux niveaux de probabilité désirés. Cependant, s'il y avait moins d'années disponibles, nous fondions alors nos calculs sur le nombre d'années

disponibles tel qu'indiqué au tableau.

En ce qui concerne les dates de fin établies en fonction du critère « gel », les dates de probabilité de 95 et de 90 % à l'annexe 2 sont équivalentes aux dates correspondant à des probabilités de 5 et de 10 % que la température baisse à 0 °C (non illustrées). Cela est attribuable au fait que l'annexe 2 indique la probabilité que les dates de fin arrivent *à la ou après la date* indiquée, alors que les probabilités de gel sont généralement présentées comme étant la probabilité d'apparition de gel *à la ou avant la date* indiquée. En outre, à l'annexe 2, toutes les données pour les niveaux de probabilité inférieurs à 90 % qui sont basées sur ce critère sont identiques ou semblables à la date de probabilité de 90 % étant donné que la date de fin pour ce critère n'est jamais plus tardive que la date de probabilité de 10 % de gel (0 °C). Nous considérons cette date comme le moment approximatif où 50 % de la ligne de maturité devrait être atteint chez les hybrides de maïs cultivés pour le grain (Filion et coll., 1988). Une fois que 50 % du stade laiteux est atteint, il faut habituellement de 2 à 3 semaines pour que l'hybride termine ce stade pour atteindre la maturité.

Les dates de fin basées sur les critères « grain 1 » et « récolte » sont étroitement reliées aux dates auxquelles le mercure peut descendre à -2 °C. Par conséquent, il y a une relation entre les dates de gel à l'annexe 4 et les dates de fin basées sur ces critères. Il y a toutefois quelques différences importantes. Comme dans le cas pour le critère « gel », la date de fin au niveau de probabilité de 90 % pour les critères à l'annexe 2 est généralement la même que la date de probabilité de 10 % que le mercure baisse à -2 °C à l'annexe 4 (de nouveau, les dates de fin sont basées sur la probabilité d'être *à la ou après la date*, alors que les dates de gel se rapportent à la probabilité qu'elles soient *à la ou avant la date*). Cependant, comme la date de fin établie en fonction du critère « grain 1 » n'est jamais plus tardive que la date de probabilité de 10 % que le mercure baisse à -2 °C, les valeurs pour tous les niveaux de probabilité inférieurs à 90 % sont

établies à la valeur de 90 % à l'annexe 2, à la différence des dates de gel à l'annexe 4. Les dates de fin basées sur le critère « récolte » sont étroitement reliées à la première fois que la température baisse à -2°C . Cependant, comme ce critère utilisait le 25 octobre comme la date de fin la plus tardive possible, les valeurs à l'annexe 2 et à l'annexe 4 commenceront généralement à différer dans le cas des dates à la fin d'octobre ou en novembre si, certaines années, les températures ne chutent pas à -2°C ou plus bas avant un certain temps après le 25 octobre pour un endroit particulier.

UTM basées sur les normales

Les UTM disponibles pour la production du maïs-grain, telles qu'estimées à partir des normales à l'aide des équations (1) et (2), sont illustrées à l'annexe 5 à la fois pour la période de 1951 à 1980 et celle de 1961 à 1990. On y trouve également la latitude, la longitude et l'altitude de la station météorologique, ainsi que les dates de début et de fin qui ont été utilisées dans le calcul des UTM normales. Nous nous sommes servis de ces données pour obtenir les cartes de distribution géographique des UTM, ainsi que les dates de début et de la fin de la saison de croissance, telles que décrites dans les sections précédentes. Il y avait considérablement plus de données recueillies entre 1951 et 1980, comme on peut le voir dans cette annexe. Les stations en Ontario et au Nouveau-Brunswick qui étaient proches de la frontière du Québec ont également été incluses dans les données de 1951 à 1980.

Distribution géographique des UTM au Québec

La distribution des UTM disponibles au Québec est illustrée à la figure 5, à l'aide d'isolignes tracées par intervalles de 200 UTM. Cette carte montre les valeurs des UTM qui ont été égalées ou dépassées 8 années sur 10 (probabilité de 80 %), critère sur lequel est fondé le système actuel d'établissement des zones d'UTM au Québec. Ces valeurs s'appliquent aux dates de fin basées sur le critère Grain 1 et, par conséquent, aux UTM disponibles pour la

production de maïs-grain.

Les valeurs les plus élevées (2 900 UTM ou plus) sont atteintes dans la région autour de Montréal et dans certains endroits au sud de la métropole. Les UTM disponibles par saison fléchissent en direction nord et en direction est vers des latitudes et/ou des altitudes supérieures. Comme il y a une relation étroite entre l'altitude et les UTM disponibles, nous nous sommes grandement fiés aux courbes de niveau d'altitude pour tracer les isolignes des UTM sur cette carte.

Bien que de nombreuses régions présentent des valeurs semblables à celles de la carte existante utilisée pour évaluer les hybrides de maïs dans la province, nous constatons des écarts importants. Par exemple, il y a désormais une zone dans la région du Lac-Saint-Jean qui compte plus de 1 900 UTM, alors qu'auparavant la valeur la plus élevée établissait entre 1 700 et 1 900 UTM. En outre, certains endroits près de Montréal et au sud de cette ville indiquent dorénavant plus de 2 900 UTM, contre 2 700 à 2 900 auparavant. Plusieurs autres endroits comptent moins d'UTM disponibles que celles indiquées sur la carte précédente. Par exemple, certains endroits à l'est de Sherbrooke évalués antérieurement à 2 300 - 2 500 UTM comptent moins de 2 300 UTM maintenant. Notre analyse fait ressortir un fléchissement plus rapide des UTM en direction nord à partir du fleuve Saint-Laurent que ce qui est indiqué sur la carte actuelle des UTM pour la province.

Les changements dans les valeurs des UTM résultent d'une combinaison de facteurs : i) utilisation d'un plus grand nombre de stations climatiques dans la présente étude; ii) changement dans la période considérée (1961-1990 comparativement à 1970-1978); iii) changements dans les méthodes pour déterminer le début et la fin de la saison de croissance; iv) utilisation accrue des courbes de niveau d'altitude pour tracer les isolignes des UTM. Cependant, *l'échelle de la carte présentée à la figure 5 est telle qu'elle ne devrait servir que de guide général*. Les valeurs précises des UTM disponibles dans le cas d'une exploitation agricole ou d'un champ en

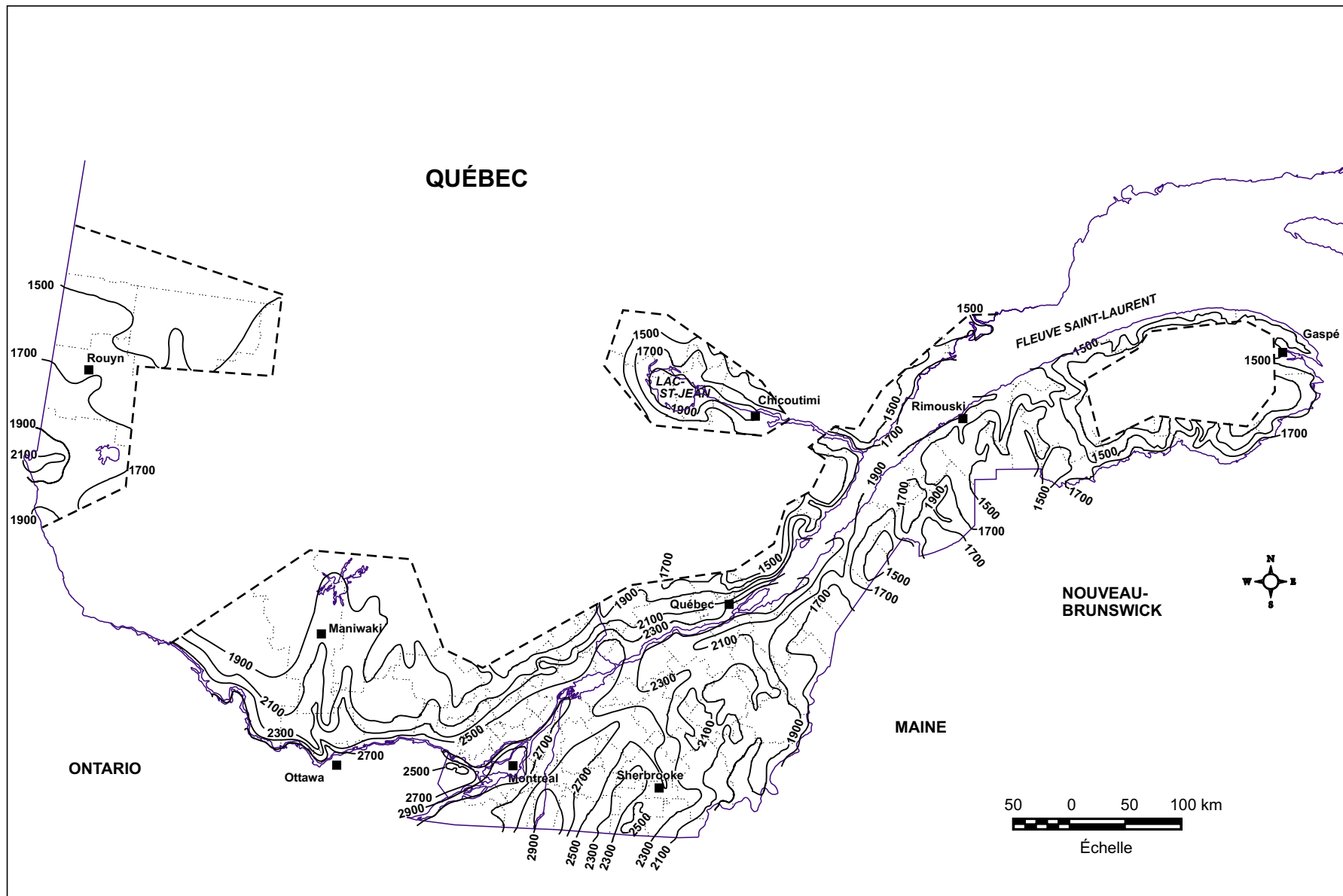


Figure 5. Carte des unités thermiques maïs (UTH) disponibles à un niveau de probabilité de 80% (8 années sur 10) pour la culture du maïs-grain au Québec, période de 1961 à 1990.

particulier peuvent varier selon le type de sol, le drainage, l'humidité, l'orientation des pentes, les conditions locales de gel, etc. Par exemple, les pentes exposées au sud reçoivent plus de chaleur que les pentes exposées au nord, et les sols sableux bien drainés se réchauffent plus vite que les sols argileux et/ou mal drainés. En outre, dans le cas où il y aurait des variations locales dans les dates moyennes de début (date des semis) et de fin de la saison de croissance, il est possible de corriger les valeurs en se basant sur l'information présentée dans la prochaine section.

En raison des divers facteurs qui peuvent influencer sur les UTM disponibles, il est probablement possible d'estimer les UTM disponibles de 50 à 100 UTM près à l'aide de la figure 5. On peut en arriver à une estimation plus exacte en utilisant une échelle cartographique plus détaillée avec des isolignes tracées par intervalles de 100 UTM. *L'annexe 6 contient des cartes plus détaillées de segments des régions agricoles de la province.* Les producteurs devraient être en mesure de les utiliser pour faciliter leur choix d'hybrides et de variétés qui sont les mieux adaptés à leurs zones climatiques.

Nos cartes des UTM (basées sur les dates de fin en fonction du critère Grain 1) peuvent aider à établir les régions convenant à la production du maïs-grain, du maïs à ensilage et du soya. En général, la production de maïs-grain nécessite entre 2 300 et 2 500 UTM ou davantage (probabilité de 80 % d'atteindre la maturité), quoique cette limite puisse probablement être abaissée avec la création d'hybrides précoces dont le rendement est adéquat dans des régions de basses unités thermiques. Des hybrides exigeant aussi peu que 2 300 UTM sont actuellement vendus dans le commerce. Avec l'augmentation des unités thermiques au-dessus de ce seuil, les producteurs sont en mesure de cultiver des hybrides plus tardifs qui donneront des rendements plus élevés. Le maïs à ensilage peut généralement être cultivé dans les régions illustrées à la figure 5 qui bénéficient de 1 900 à 2 100 UTM ou davantage, et atteindre quand même une teneur adéquate en matière sèche dans la plante entière. Les régions pour lesquelles les

UTM sont inférieures à cette valeur deviennent plus risquées et, s'il y a moins de 2 000 UTM disponibles, les rendements ont tendance à être trop bas et/ou la teneur en humidité est trop élevée pour produire du maïs à ensilage de façon rentable.

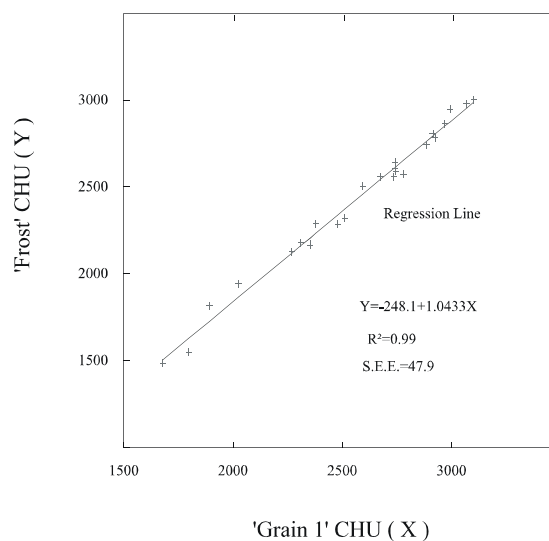


Figure 6. Relation entre les UTM disponibles en fonction des dates de fin établies à partir des critères « gel » et « grain 1 ».

Il y a une relation étroite entre les UTM accumulées jusqu'aux dates de fin déterminées en fonction des critères « gel » et « grain 1 » (figure 6). Cette relation est exprimée par l'équation de régression suivante, basée sur les données provenant de 24 stations du Québec qui avaient des données complètes pour la période de 1961 à 1990 (voir le tableau 1) :

$$UTM_{gel} = -248,1 + 1,0433 (UTM_{grain 1})$$

$$(R^2 = 0,99 \text{ ETE} = 47,9 \text{ UTM})$$

Cette équation peut servir à estimer les UTM disponibles à la date de fin déterminée en fonction du critère « gel » à partir des valeurs pour le maïs-grain indiquées sur les cartes d'établissement des zones. Les quantités approximatives d'UTM à soustraire des valeurs à la date correspondant au critère grain pour obtenir

les valeurs à la date correspondant au critère « gel » sont les suivantes : à 3 000 UTM, soustraire 120 unités; à 2 500 UTM, soustraire 140 unités; à 2 000 UTM, soustraire 160 unités.

Généralement, le soya est semé après le maïs-grain au printemps mais il est récolté avant ce dernier à l'automne. Les valeurs des UTM actuellement disponibles seront alors moindres que celles indiquées sur les cartes d'établissement des zones, et auront tendance à être assez semblables aux valeurs à la date de fin déterminée en fonction du critère « gel ». Cependant, les valeurs existantes des UTM pour les variétés de soya ont été fondées sur les UTM disponibles pour la production du maïs-grain. Les valeurs des UTM indiquées sur nos cartes sont par conséquent celles qui sont les plus appropriées à utiliser lorsque l'on apparie les exigences en UTM des variétés de soya et les UTM disponibles dans une zone particulière. À l'heure actuelle, des variétés de soya nécessitant aussi peu que 2 300 UTM sont vendues dans le commerce pour la production.

Le niveau de probabilité ou de risque de 80 % sur lequel sont basées les UTM dans la figure 5 et à l'annexe 6 est considéré comme étant approprié pour la prise de décision; les hybrides de maïs actuellement évalués pour la province ayant d'ailleurs été choisis en fonction de ce niveau. En basant leurs décisions sur ce niveau, les producteurs pourront éviter le cas où des saisons de croissance inhabituellement fraîches retardent la récolte, résultant en la production de grains plus humides qu'il n'est souhaitable (entraînant des coûts supplémentaires pour le séchage du grain) ou empêchant carrément la production (rendement nul). Néanmoins, dans certaines situations, il peut être souhaitable d'avoir de l'information sur les UTM disponibles à d'autres niveaux de probabilité (tels qu'indiqués à l'annexe 2, par exemple, pour chacune des stations). Par exemple, il peut être souhaitable de connaître les valeurs moyennes des UTM qui sont disponibles à des fins de comparaison avec d'autres régions au Canada qui sont évaluées sur cette base. Par conséquent, nous avons comparé les UTM à une probabilité de 80 %, telles que déterminées à partir des données sur les normales,

aux valeurs moyennes des UTM et aux valeurs des UTM à certains niveaux de probabilité d'après les données quotidiennes, en soumettant à des analyses de régression linéaire des données provenant des 24 stations au Québec qui comptaient 30 années de données disponibles pour la période de 1961 à 1990 (voir le tableau 1).

Les résultats des analyses de régression sont résumés au tableau 7. Dans tous les cas, le coefficient de détermination (R^2) était supérieur à 0,98, indiquant une forte corrélation entre ces variables. Les erreurs-types des estimations variaient d'un minimum de 29 UTM à un maximum de 49 UTM.

Afin de faciliter la conversion des isolignes des UTM (probabilité de 80 %) à la figure 5 et à l'annexe 6 à d'autres niveaux de probabilité, nous avons utilisé les valeurs des isolignes dans les équations de régression. Les valeurs résultantes sont résumées au tableau 8; nous constatons qu'il est possible, par exemple, d'estimer les valeurs des UTM moyennes en additionnant simplement 100 UTM aux isolignes des UTM à un niveau de probabilité de 80 %. Cette table de conversion élimine la nécessité de produire des cartes multiples à différents niveaux de probabilité.

Ajustements en fonction des dates de début et de fin de la saison de croissance

L'information sur les UTM/jour accumulées au printemps et à l'automne est présentée au tableau 9. Nous avons fait la moyenne des données conformément aux groupes indiqués au tableau 10, en utilisant les résultats des stations climatiques indiquées. Ces données aideront les utilisateurs à ajuster les valeurs annuelles des UTM dans le cas des dates de début (semis) et de fin de la saison de croissance qui diffèrent de celles utilisées dans notre étude en raison de facteurs locaux reliés au sol, au climat et aux techniques culturales. Par exemple, Huntingdon se trouve dans la région 7, bénéficiant de 2 819 UTM disponibles à un niveau de probabilité de 80 %. Le 13 mai est la date moyenne d'ensemencement utilisée pour Huntingdon (annexe 2).

Tableau 7. Équations de régression reliant les UTM à un niveau de probabilité de 80 % déterminées à partir des données sur les normales aux valeurs des UTM moyennes et aux valeurs des UTM à certains niveaux de probabilité d'après les données quotidiennes.

Équation de régression	R ²	ETE
$UTM_{moy} = 125,1 + 0,98681 UTM_{80\%}$	0,99	31,8
$UTM_{95\%} = -219,7 + 1,03645 UTM_{80\%}$	0,99	40,4
$UTM_{90\%} = -98,6 + 1,01792 UTM_{80\%}$	0,99	48,8
$UTM_{75\%} = 26,7 + 0,99736 UTM_{80\%}$	0,99	34,9
$UTM_{50\%} = 152,7 + 0,97669 UTM_{80\%}$	0,99	29,5
$UTM_{25\%} = 206,9 + 0,98429 UTM_{80\%}$	0,99	42,7
$UTM_{10\%} = 314,7 + 0,97000 UTM_{80\%}$	0,99	44,2
$UTM_{5\%} = 442,5 + 0,94760 UTM_{80\%}$	0,99	42,2

R² = Coefficient de détermination; ETE = erreur-type d'une estimation.

Tableau 8. Tableau des valeurs pour convertir des UTM du niveau de probabilité de 80 % à d'autres niveaux de probabilité (au moyen des équations de régression du tableau 7).

UTM _{80%} †	Valeur des UTM au niveau de probabilité indiqué							UTM _{moy}
	5 %	10 %	Niveau de probabilité			90 %	95 %	
			25 %	50 %	75 %			
1 500	1 864	1 770	1 683	1 618	1 523	1 428	1 335	1 605
1 600	1 959	1 867	1 782	1 715	1 622	1 530	1 439	1 704
1 700	2 053	1 964	1 880	1 813	1 722	1 632	1 542	1 803
1 800	2 148	2 061	1 979	1 911	1 822	1 734	1 646	1 901
1 900	2 243	2 158	2 077	2 008	1 922	1 835	1 750	2 000
2 000	2 338	2 255	2 176	2 106	2 021	1 937	1 853	2 099
2 100	2 432	2 352	2 274	2 204	2 121	2 039	1 957	2 197
2 200	2 527	2 449	2 372	2 301	2 221	2 141	2 060	2 296
2 300	2 622	2 546	2 471	2 399	2 321	2 243	2 164	2 395
2 400	2 717	2 643	2 569	2 497	2 420	2 344	2 268	2 493
2 500	2 811	2 740	2 668	2 594	2 520	2 446	2 371	2 592
2 600	2 906	2 837	2 766	2 692	2 620	2 548	2 475	2 691
2 700	3 001	2 934	2 865	2 790	2 720	2 650	2 579	2 790
2 800	3 096	3 031	2 963	2 887	2 819	2 752	2 682	2 888
2 900	3 191	3 128	3 061	2 985	2 919	2 853	2 786	2 987
3 000	3 285	3 225	3 160	3 083	3 019	2 955	2 890	3 086
3 100	3 380	3 322	3 258	3 180	3 119	3 057	2 993	3 184

† Valeurs correspondantes aux isolignes dans la figure 5 et à l'annexe 6.

Tableau 9. Valeurs moyennes approximatives des UTM accumulées/jour au printemps et à l'automne pour des groupes spécifiques.

Groupe*	UTM accumulées/jour											
	Printemps						Automne					
	1-10 mai	11-20 mai	21-31 mai	1-10 juin	11-20 juin	21-30 juin	1-10 sept.	11-20 sept.	21-30 sept.	1-10 oct.	11-20 oct.	21-31 oct.
1	-	9	11	15	19	20	16	13	9	6	4	2
2	-	8	11	14	16	18	14	10	7	4	3	2
3	-	-	9	13	17	18	14	10	7	4	3	2
4	-	11	13	17	19	20	17	13	10	6	4	3
5	8	12	15	18	20	21	18	14	11	8	5	4
6	9	13	16	19	21	22	19	15	12	8	6	4
7	9	14	16	19	21	23	20	16	13	9	7	4

* Voir la définition des groupes au tableau 10.

Tableau 10. Définition des groupes ayant des UTM semblables/jour au printemps et à l'automne au tableau 9.

Groupe	Gamme d'UTM (prob. de 80 %)	Description de la région générale couverte	Stations climatiques/emplacements utilisés dans les moyennes
1	1 900-2 300	Bas Saint-Laurent près de la Pocatière	La Pocatière
2	1 500-1 900	Région du Lac-Saint-Jean	Normandin, Péribonka.
3	1 700-2 000	Région de Gaspé, le long du Saint-Laurent	Mont-Joli A, Trois-Pistoles.
4	2 100-2 500	Est de Trois-Rivières jusqu'à l'île d'Orléans, sur les deux rives du fleuve Saint-Laurent	Saint-Alban, Laurierville, Scott, Québec A, Saint-Augustin.
5	2 250-2 500	Comprend la région de Sherbrooke, Shawinigan et la région de la vallée supérieure de l'Outaouais	Shawville, Lennoxville, Coaticook, Shawinigan.
6	2 500-2 800	Nord-est de Montréal jusqu'à Trois-Rivières; nord-ouest et ouest de Montréal; vallée inférieure de l'Outaouais	Lachute, Fleury, L'Assomption CDA, Coteau-du-Lac, Nicolet, Berthierville, Dalhousie Mills, Ottawa CDA.
7	2 600-3 000	Région de Montréal et région au sud- ouest, au sud et à l'est de Montréal	Hemmingford Four Winds, Farnham, Sainte-Clothilde CDA, Ormstown, Verchères, Saint-Rémi, Sainte-Martine, Drummondville, Saint-Anicet, Huntingdon, Saint-Hyacinthe 2, Sainte-Anne-de- Bellevue.

En moyenne, il y a 14 UTM/jour accumulées entre le 11 et le 20 mai (tableau 9). Par conséquent, si la date moyenne des semis est retardée d'une semaine jusqu'au 20 mai, alors la valeur estimée des UTM disponibles (niveau de probabilité de 80 %) serait égale à $2\ 819 - (7 \times 14) = 2\ 721$ UTM. La même correction peut servir à estimer la valeur des UTM moyennes pour cet endroit, étant donné que tout changement dans la valeur moyenne est relié à un changement semblable dans la valeur de la probabilité de 80 % (voir la figure 4).

Les dates moyennes de début et de fin pour l'accumulation des valeurs quotidiennes des UTM afin d'obtenir les valeurs des UTM par saison pour la production de maïs-grain (critère grain 1) sont indiquées dans les figures 7 et 8. Ces cartes permettent à l'utilisateur de faire une approximation des dates qui ont été utilisées dans cette étude pour une région donnée, afin de déterminer s'il est nécessaire d'ajuster les valeurs des UTM. Ces dates sont fondées sur les résultats obtenus au cours des analyses des données sur les normales climatiques de 30 ans. Dans la plupart des cas, elles correspondent étroitement aux dates obtenues de l'analyse des données quotidiennes, à l'exception des régions « côtières » (p. ex., adjacentes au fleuve Saint-Laurent à l'est de la ville de Québec), où les dates de fin de la saison de croissance basées sur les données quotidiennes ont tendance à être une à deux semaines plus tardives que celles indiquées sur la carte. Cette différence doit être prise en compte au moment d'ajuster les valeurs des UTM dans ces régions.

Représentativité des stations climatiques

Certaines des stations climatiques choisies pour les analyses des UTM à l'aide des données sur les températures quotidiennes (tableau 1) étaient considérées comme n'étant pas vraiment représentatives des régions de culture du maïs avoisinantes en raison d'influences locales. Nous avons tenté de prendre en compte ces influences au moment de tracer la carte lorsque nous étions au courant d'une distorsion possible reliée à la station. Ces stations ont néanmoins été retenues

dans les annexes en raison de leur disponibilité.

La station de Saint-Lazare était située sur une crête de haute altitude entre les rivières Outaouais et le fleuve Saint-Laurent qui n'est pas représentative des endroits où la plupart du maïs est cultivé dans cette région. En raison des températures plus fraîches observées pendant la saison de croissance et de la gelée automnale plus hâtive que ce qui est habituellement observé dans la région, cette station a enregistré des valeurs des UTM exceptionnellement basses (2 280 UTM à un niveau de probabilité de 80 %). Pour cette raison, nous n'avons pas indiqué la faible valeur des unités thermiques pour ce site sur les cartes des UTM et nous avons limité la ligne de 2 500 UTM à la bande relativement étroite d'altitude plus élevée dans cette région.

Les valeurs des UTM pour la station de Valleyfield (3 003 UTM à un niveau de probabilité de 80 %) étaient considérées comme étant surévaluées pour les terres productrices de maïs dans la région, probablement due à l'influence urbaine et/ou à celle des masses d'eau. Par conséquent, les cartes de cette région n'ont pas de ligne de 3 000 UTM. Néanmoins, il est possible que des champs dans la région puissent bénéficier de micro-climats qui rendent possible la production d'hybrides de maïs exigeant 3 000 UTM.

On soupçonne que l'emplacement de la station des Cèdres à proximité d'un barrage hydroélectrique et de la voie maritime du Saint-Laurent ait influé sur les valeurs des UTM puisque la station a enregistré des valeurs d'UTM légèrement supérieures (2 958 UTM à un niveau de probabilité de 80 %) aux valeurs typiques pour les terres agricoles dans le voisinage.

Les dates moyennes de fin de la période d'accumulation des UTM dans le cas du maïs-grain (critère grain 1) pour les stations de Nicolet et de Drummondville ont été retardées jusqu'à la première semaine d'octobre, ces dates étant considérées comme étant environ une semaine trop tardives. Il est probable que des conditions locales dans ces stations aient retardé l'occurrence

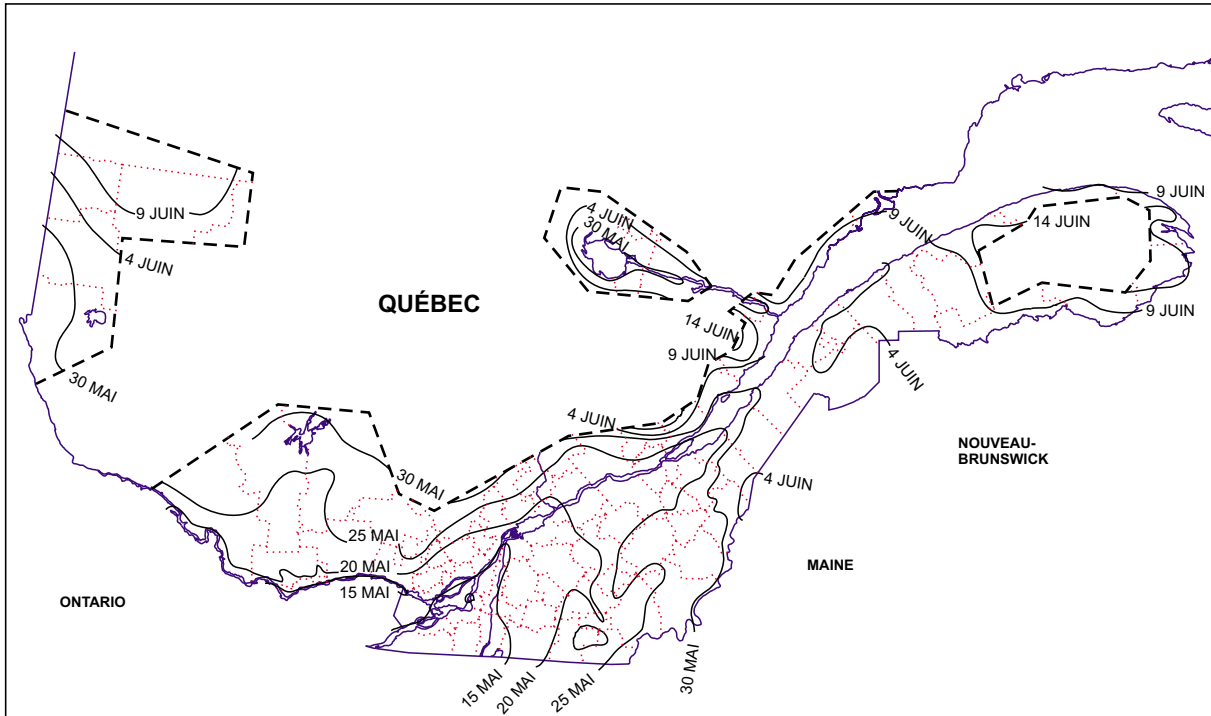


Figure 7. Carte des dates moyennes du début de la période d'accumulation des UTM pour le maïs au Québec. Ces dates correspondent approximativement à la période à laquelle 50% de la culture a été ensemencée.

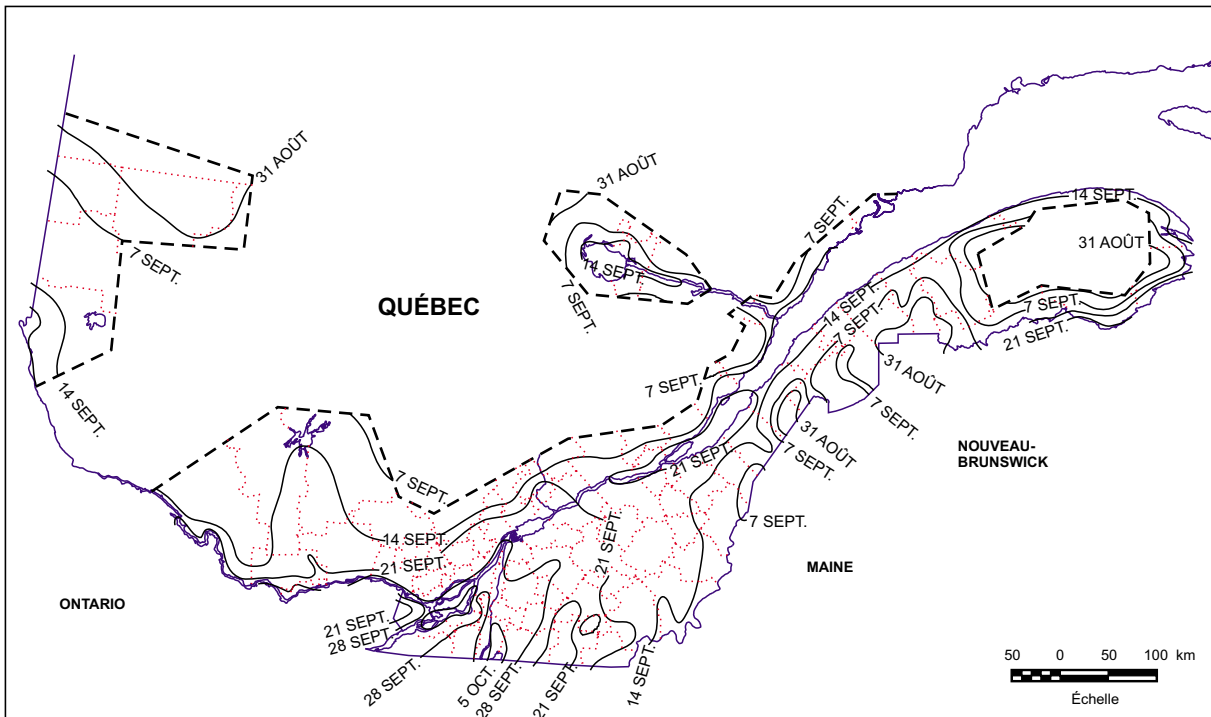


Figure 8. Carte des dates moyennes de la fin de la période d'accumulation des UTM pour le maïs-grain au Québec. Ces dates correspondent approximativement à la période où le maïs-grain devrait avoir atteint la maturité et à la date de probabilité de 10% que la température baisse à -2°C .

du gel automnal à des dates plus tardives qu'il n'est typique de l'observer dans les régions agricoles avoisinantes. Par conséquent, les valeurs des UTM déterminées à partir des calculs quotidiens ont été quelque peu supérieures aux valeurs appropriées pour la région. Aux valeurs « normales » pour ces stations (annexe 5) ont correspondu des dates de fin plus appropriées à la fin de septembre, et les valeurs des UTM obtenues à partir de ces données devraient être réalistes. Les valeurs des UTM reportées sur les cartes de ces régions étaient cohérentes avec les valeurs normales obtenues pour ces stations et considérées comme étant appropriées pour les régions concernées.

CONCLUSION

Notre étude fournit de l'information plus détaillée et à jour sur les unités thermiques disponibles pour la production de maïs et de soya au Québec que celle dont nous disposions jusqu'à présent. Elle a été obtenue par l'analyse d'une période d'enregistrement plus longue, de la plus récente période de « normales » climatiques et de données d'un plus grand nombre de stations climatiques comparativement aux études antérieures. Nous avons pu tracer des cartes plus détaillées en nous appuyant fortement sur les cartes des courbes de niveau d'altitude. Nous fournissons de l'information pour une gamme plus étendue de niveaux de probabilité que ceux utilisés dans les études antérieures. Le lecteur dispose ainsi de plus de souplesse dans le choix du niveau de risque le plus approprié dans une situation donnée.

Diverses personnes et agences, comme les producteurs, les spécialistes de la vulgarisation, les organismes de producteurs, les comités agricoles, les organismes agricoles gouvernementaux dont la Régie des assurances agricoles trouveront cette information utile. Nos résultats devraient les aider à décider des hybrides et des variétés les mieux adaptés à une zone climatique particulière et à déterminer la probabilité de succès ou d'échec. Les agronomes peuvent aussi s'en servir pour faire leurs recommandations sur la production des cultures

dans la province. Notre étude devrait également fournir des renseignements utiles pour l'agriculture québécoise, notamment pour l'administration des programmes d'assurance offerts aux producteurs de la province.

BIBLIOGRAPHIE

- Bootsma, A., 1991. Analyses des risques relatifs aux unités thermiques effectives pour la production de maïs dans les provinces Maritimes. Agriculture Canada, Direction générale de la recherche, Centre de recherches sur les terres, Ottawa, Bull. techn. 1991-8F, 53 p.
- Bootsma, A. and Brown, D.M., 1995. Risk analyses of crop heat units available for corn and other warm-season crops in Ontario. Agriculture and Agri-Food Canada, Research Branch, Centre for Land and Biological Resources Research, Ottawa, Tech. Bull. 1995-1E, 83 pp.
- Brooks, C.E.P., 1943. Interpolation tables for daily values of meteorological elements. Quart. J. Royal Meteorol. Soc. 69:160-162.
- Brown, D.M., 1963. A "heat unit" system for corn hybrid recommendations. The 5th National Conference on Agricultural Meteorology, Lakeland, Fla. 10 pp.
- Brown, D.M., 1978. Heat units for corn in southern Ontario. Ont. Min. Agric. and Food, Factsheet No. 78-063, Agdex 111/31, 4 pp.
- Brown, D.M. et Bootsma, A., 1993. Unités thermiques de croissance disponibles en Ontario pour la culture du maïs et d'autres espèces exigeantes en chaleur. Min. Agr. Alim. Ont., Fiche technique 93-119, Agdex 111/31, 4 p.
- Conseil des productions végétales du Québec Inc. 1998. Résultats des essais de maïs-grain 1997 et recommandations de cultivars de plantes oléoprotéagineuses et de céréales 1998. CPVQ Inc., Québec (Québec). 39 p.

- Dubé, P.A., Castonguay, Y., Côté, J. et Léonard, R., 1984. Réévaluation de la distribution des unités-thermiques-maïs au Québec. Conseil des productions végétales du Québec, Bulletin technique n° 7, Gouvernement du Québec, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. 49 p.
- Environnement Canada, 1994. Données climatiques mensuelles canadiennes et normales 1961-1990 sur CD-ROM, Version 3.0F. Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario).
- Environnement Canada, 1997. Données climatiques quotidiennes canadiennes : températures et précipitations - Est du Canada, Mise à jour de 1996. CD-ROM, Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique, Downsview (Ontario).
- Filion, P., Choquette, D., Martel, P. et Duplessis, M., 1988. Production du maïs-grain dans le sud-ouest du Québec : mise au point technique. Agriculture Canada, Station de recherches, Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Bulletin technique n° 24, 36 p.
- SAS Institute Inc., 1985. SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition. Sas Institute Inc., Cary, N. C., 956 pp.
- White, R.P., 1978. Cultural practices affecting maturity and yield of corn (*Zea mays*) for whole-plant silage in short-season areas. Rev. can. phyt.. 58:629-642.