

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES**

PAR

LYNE BERGERON, AGR

**EFFET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL SUR LE RENDEMENT
ET LA QUALITÉ DES FRUITS DU BLEUET NAIN**

AVRIL 1995



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

RÉSUMÉ

La région du Saguenay-Lac-Saint-Jean est le principal producteur de bleuet nain (*Vaccinium angustifolium* Ait.) au Québec avec une production annuelle atteignant 8 000 à 10 000 tonnes métriques. La presque totalité des bleuets est destinée à la transformation. Le développement de nouveaux marchés et la consolidation de ceux déjà acquis exigent une production annuelle constante et de bonne qualité. Or, le volume de production varie considérablement d'une année à l'autre. Cette irrégularité est due en grande partie au climat, principalement au gel et à la sécheresse. L'irrigation par aspersion peut contrer les effets néfastes du gel radiatif de faible intensité et de la sécheresse sur la production et peut même contribuer à en améliorer la qualité.

L'irrigation modifie la teneur en eau du sol. L'effet de la teneur en eau du sol sur le rendement et la qualité des fruits du bleuet nain a donc été vérifié sur des plants de bleuets en première année de production au cours de la saison 1993. Une évaluation de l'effet de différentes conditions de teneur en eau du sol sur le nombre, la masse et la taille des fruits a d'abord été effectuée. Par la suite, une vérification de l'effet de ces mêmes traitements sur l'apparence des bleuets, leur qualité gustative ainsi que sur leur composition chimique a été réalisée.

Dix-huit parcelles ont été délimitées à l'intérieur d'une bleuetière publique puis regroupées en six blocs complets. Trois conditions de teneur en eau du sol ont été réparties aléatoirement à l'intérieur de chaque bloc: condition naturelle (Cn), condition recommandée (Cr) et condition sèche (Cs).

Le contrôle de la quantité d'eau atteignant les parcelles Cr et Cs a été assuré par des structures protectrices spécialement aménagées qui bloquaient le passage aux précipitations naturelles et à l'eau d'irrigation lorsque nécessaire. Les traitements ont été appliqués pendant une période de huit semaines consécutives, du 20 juin au 16 août 1993.

L'analyse des données de rendement a permis de constater que le nombre de fruits, la taille et la masse des fruits ne varient pas significativement ($p \leq 5\%$) entre les trois traitements.

L'apparence et la qualité gustative des fruits frais soumis aux traitements Cr et Cs n'ont pas été modifiées par la teneur en eau du sol. Les bleuets provenant de ces parcelles n'ont pas montré de différence significative concernant la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère ($p \leq 5\%$). *X*

La teneur en eau du sol a affecté significativement plusieurs paramètres de la composition chimique utilisés pour évaluer la maturité des fruits du bleuet nain, soit les contenus en sucres et en acides. Le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol par rapport à des conditions plus sèches n'a cependant pas modifié la composition chimique des bleuets bien que cette même teneur en eau a produit des fruits significativement moins acides (pH plus élevé, teneur en acide citrique moindre), plus sucrés et par le fait

même plus matures (rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux plus élevés) comparativement à une teneur en eau du sol plus élevée ($p \leq 5\%$).

La teneur en eau, l'acidité titrable, les solides insolubles dans l'alcool, les teneurs en acides quinique, succinique, malique, α -cétoglutarique, la teneur en acides totaux, de même que les rapports solides solubles/acidité titrable et sucres totaux/acidité titrable des fruits n'ont donné aucune différence significative ($p \leq 5\%$) suite à l'application des différentes conditions de teneur en eau du sol.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet de maîtrise a été rendu possible grâce à la subvention d'Agriculture et Agro-alimentaire Canada accordée au Groupe de Recherche en Productivité Végétale (GRPV) de l'Université du Québec à Chicoutimi, de même qu'à la société Alcan et au Fonds des chercheurs pour l'aide à la recherche (FCAR), qui m'ont fait bénéficier de bourses d'étude. Je remercie ces organismes pour toutes les ressources mises à ma disposition.

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le Dr. Daniel Lord ainsi que mon codirecteur, le Dr. Pierre-André Dubé, pour leurs judicieux conseils et leur encouragement. Pour la précieuse aide apportée, je remercie tout particulièrement mon co-équipier de travail dans la bleuetière, M. Stéphane McLaughlin, mon conjoint, M. Richard Wieland, Messieurs Jacques Allaire et Daniel Gagnon, ainsi que la vingtaine de dévoués cueilleurs qui ont cueilli à la main pas moins de 176 kg de bleuets en une seule journée!

Je suis très reconnaissante à M. Jean-Eudes Senneville qui a bien voulu m'allouer une portion de sa bleuetière pour y réaliser mon expérience. Le contremaître de la bleuetière, M. Guy Perron ainsi que ses collaborateurs, m'ont donné tout le support et l'aide nécessaires en temps voulu, sans jamais compter leur temps et je l'ai beaucoup apprécié.

Je remercie chaleureusement le Dr. Gilles Doyon et son équipe de même que Mme Jacinthe Fortin et son équipe du Centre de recherche et de développement sur les aliments

(CRDA) de Saint-Hyacinthe, qui ont collaboré de près à la phase expérimentale de mon projet qui s'est déroulée dans leur laboratoire. Le Dr. Doyon a également participé activement à la correction du manuscrit original, tout comme le Dr. Michel Gagnon. Ils m'ont tous deux fourni des informations pertinentes à l'avancement de ma recherche et je les en remercie.

Mes remerciements s'adressent également à Messieurs Yves Tremblay, Denis Walsh et Jacques Filion pour l'aide apportée lors de la réalisation des analyses statistiques de mes données.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iv
TABLE DES MATIÈRES.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES PHOTOGRAPHIES.....	xii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: EFFET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL SUR LE RENDEMENT DU BLEUET NAIN	
1.1 INTRODUCTION.....	7
1.2 MÉTHODOLOGIE.....	9
1.2.1 Site.....	9
1.2.2 Traitements.....	12
1.2.3 Plan d'expérience.....	14
1.2.4 Caractérisation physique du site.....	15
1.2.4.1 Épaisseur de la couche de matière organique du sol.....	15
1.2.4.2 Analyses de sol et dose d'irrigation.....	16
1.2.5 Application des traitements.....	18
1.2.5.1 Description du système de protection des parcelles.....	18
1.2.5.2 Évaluation des besoins en eau.....	20
1.2.5.3 Quantités d'eau reçues et tension de l'eau dans le sol.....	21

1.2.6	Paramètres mesurés.....	25
1.2.7	Traitements des données.....	26
1.3	RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	27
CHAPITRE II: EFFET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL SUR LA QUALITÉ DES FRUITS DU BLEUET NAIN		
2.1	INTRODUCTION.....	33
2.2	MÉTHODOLOGIE.....	38
2.2.1	Site, application des traitements et plan d'expérience.....	38
2.2.2	Paramètres mesurés.....	38
2.2.3	Analyses sensorielles.....	39
2.2.3.1	Plan d'expérience.....	39
2.2.3.2	Préparation et présentation des échantillons.....	40
2.2.3.3	Évaluation sensorielle.....	40
2.2.4	Analyses chimiques.....	40
2.2.4.1	Préparation des échantillons.....	40
2.2.4.2	Détermination de la teneur en eau.....	41
2.2.4.3	Détermination du pH.....	41
2.2.4.4	Détermination de l'acidité titrable.....	42
2.2.4.5	Détermination du contenu en solides solubles (SS) ou degré Brix (°B).....	42
2.2.4.6	Détermination du contenu en solides insolubles dans l'alcool (SIA).....	43
2.2.4.7	Détermination des sucres et acides organiques par chromatographie liquide à haute pression (CLHP).....	44
2.2.5	Traitements des données.....	45

2.3 RÉSULTATS.....	47
2.3.1 Analyses sensorielles.....	47
2.3.2 Analyses chimiques.....	48
2.3.2.1 Teneur en eau, pH, acidité titrable, solides solubles et solides insolubles dans l'alcool.....	48
2.3.2.2 Teneur en glucose, fructose et sucres totaux.....	50
2.3.2.3 Teneur en acides organiques.....	51
2.3.2.4 Proportion de fruits bleus et indices de maturité.....	53
2.4 DISCUSSION.....	55
2.5 CONCLUSION.....	59
CONCLUSIONS GÉNÉRALES.....	61
BIBLIOGRAPHIE.....	64

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1:	Carte situant géographiquement la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx où s'est déroulée l'expérience.....	11
Figure 1.2:	Schéma du dispositif expérimental représentant les 18 parcelles, regroupées en six blocs complets.....	14

LISTE DES TABLEAUX

<u>Tableau 1.1:</u> Rendements moyens (kg/ha) en bleuets récoltés à la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx et dans l'ensemble des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean depuis 1988.....	9
<u>Tableau 1.2:</u> Répartition de la quantité d'eau appliquée par le système d'irrigation.....	13
<u>Tableau 1.3:</u> Épaisseur moyenne de la couche de matière organique mesurée sur l'ensemble des parcelles expérimentales avant l'application des traitements.....	15
<u>Tableau 1.4:</u> Teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent d'échantillons de sol provenant de la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx..	16
<u>Tableau 1.5:</u> Quantités d'eau reçues (précipitations naturelles ou irrigation) et tension de l'eau dans le sol pour chaque traitement appliqué du 20 juin au 16 août 1993; comparaison avec les précipitations enregistrées aux stations météorologiques les plus proches.....	22
<u>Tableau 1.6:</u> Densités de tiges, de bourgeons floraux et de fleurs mesurées sur des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) au cours de la saison de production 1993, avant le contrôle de la teneur en eau du sol dans les parcelles.....	27
<u>Tableau 1.7:</u> Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993 sur le nombre, la taille et la masse de fruits récoltés.....	28
<u>Tableau 2.1:</u> Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la fermeté, la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère des fruits frais.....	47

Tableau 2.2: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la teneur en eau, le pH, l'acidité titrable, les SS et les SIA des fruits.....	49
Tableau 2.3: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur les teneurs en glucose, fructose et sucres totaux des fruits déterminées par CLHP.....	50
Tableau 2.4: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur les teneurs en acides organiques des fruits déterminées par CLHP.	52
Tableau 2.5: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (<i>Vaccinium angustifolium</i>) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la proportion de fruits bleus et les indices de maturité des fruits....	53

LISTE DES PHOTOGRAPHIES

- Photo 1.1:** Structure aménagée pour protéger les parcelles de bleuets Cr et Cs lors des périodes de précipitations naturelles non désirées (structure ouverte). 18
- Photo 1.2:** Structure recouverte pour protéger les parcelles de bleuets Cr et Cs lors des périodes de précipitations naturelles non désirées..... 19

INTRODUCTION

La production du bleuet nain (*Vaccinium angustifolium* Ait.) à des fins commerciales se limite aux provinces de Québec et de l'est du Canada, ainsi qu'à l'état du Maine aux États-Unis. La région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, où l'on cueille annuellement entre 8000 et 10 000 tonnes métriques de bleuets, s'avère de loin la principale région productrice de bleuet au Québec (Francoeur, 1982; MAPAQ, 1993). Cette production se classe quatrième dans la région en termes de ventes à la ferme (MAPAQ, 1993). Auparavant, les 3/4 de cette production provenait de la forêt. Depuis quelques années, 70 à 75% de la récolte provient de bleuetières aménagées. La presque totalité des bleuets récoltés est destinée à la transformation, bien que le pourcentage de bleuets vendus à l'état frais ne cesse d'augmenter (Blatt et Hall, 1989).

Les superficies aménagées en bleuetières au Saguenay-Lac-Saint-Jean en 1990 totalisaient 13 500 ha (MAPAQ, 1993). Toutes ces bleuetières sont d'origine naturelle. Il ne s'y fait ni labour, ni hersage, ni plantation (Lareau, 1990). Les plants de bleuets se propagent grâce à des rhizomes et chaque fragment de rhizome qui s'établit donne naissance à un nouveau plant, indépendant du plant-mère, que l'on appelle clone.

Selon la régie préconisée dans les bleuetières de la région, le cycle de production du bleuet nain peut s'étendre sur deux ou trois ans. Le plant ne commence à produire qu'à la deuxième année de croissance après l'émondage, lequel s'effectue par brûlage (généralement au printemps) ou par fauchage (généralement à l'automne). La première saison estivale après

émondage permet la croissance des tiges et des bourgeons de grappe. À l'automne, les plants entrent dans une période de repos qu'ils conserveront pendant l'hiver (Trevett, 1964). Les bourgeons floraux à l'état juvénile sont situés dans les bourgeons de grappe, lesquels n'ouvriront qu'au printemps suivant (Bouchard et Guignard, 1986).

À la deuxième saison estivale après émondage, les bourgeons floraux se développent et laissent apparaître les fleurs, généralement au début du mois de juin. La pollinisation débute à l'apparition des fleurs et se poursuit tout au cours de la floraison, jusqu'à la fin juin. Le début de la fructification suit immédiatement l'ouverture des fleurs et couvre la période du 5 juin au 20 juillet (Dubé, 1968). Dubé (1968) a également noté les observations suivantes: la formation de fruits verts débute vers le 15 juin et se prolonge jusqu'à la fin août alors que celle des fruits blancs s'échelonne du 25 juin au début septembre; puis les fruits rougissent, du 12 juillet au 10 septembre. La majeure partie des fruits mûrissent en août.

Dubé (1968) a étudié les différents stades phénologiques du bleuet et conclut qu'il y a une grande hétérogénéité dans la population elle-même. Et de nombreuses caractéristiques varient de façon importante à l'intérieur même de l'espèce *angustifolium*, entre les différents clones. La variabilité en regard de la productivité a déjà été bien établie (Aalders et Hall, 1963, Hall *et al.*, 1966 — tous deux cités dans Hall *et al.*, 1979). Les plants présentent également des différences importantes en ce qui concerne la vigueur, la couleur, la forme et la taille des feuilles, la résistance aux affections du feuillage, ainsi que la précocité, la saveur, le calibre, la couleur, la fermeté et la forme du fruit (Blatt et Hall, 1989).

Dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean, les fluctuations de rendement d'une année à l'autre sont considérables (Francoeur, 1982) et largement tributaires du climat (Bouchard *et*

al., 1982; MAPAQ, 1993). Il a été démontré par les études antérieures et l'expérience régionale de la culture du bleuet que le gel radiatif et la sécheresse sont deux facteurs qui s'avèrent décisifs, voire même dévastateurs pour la production annuelle. Bouchard et Guignard (1986) ont établis les probabilités que ces deux facteurs climatiques causent des dommages notables dans les bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean: 52% de probabilité pour une gelée tardive au printemps, 33% pour une gelée hâtive à l'automne et 10% pour un déficit hydrique au cours de la saison de production.

Le gel des bleuets se solde par une perte importante de la qualité des fruits (Hall et Leefe, 1966; Hall et Aalders, 1967). Certaines années un gel tardif en période de floraison ou hâtif lors de la fructification (saison 1986, par exemple) a entraîné la perte quasi totale de la récolte régionale dans les bleuetières (Verreault *et al.*, 1993).

En conditions de sécheresse, la croissance de la tige et la formation des bourgeons à fleurs sont réduites (Hall *et al.*, 1979) et le taux de croissance est largement retardé (Young, 1952). La qualité des bleuets est affectée car les fruits se déssèchent et se ratatinent (Young, 1952; Lavoie, 1963; Hall *et al.*, 1979) ou demeurent plus petits (Young, 1952; Lavoie, 1963; Abdalla, 1965). De sévères réductions de rendement ont déjà été observées à la suite de saisons sèches (Struchtemeyer, 1956; Verreault *et al.*, 1993) et même des pertes complètes (Crane, 1966).

Des effets similaires sont rapportés dans la littérature concernant le comportement de *Vaccinium corymbosum* L. (bleuet géant) et de *Vaccinium ashei* Reade (connu sous le nom de «rabbiteye blueberry») face à un stress hydrique, deux espèces de bleuet plus étudiées que le bleuet nain. Young (1952) a constaté que la sécheresse provoque les mêmes effets sur le

bleuet géant que sur le bleuet nain, c'est-à-dire que le taux de croissance des plants est largement retardé, que les bleuets demeurent petits et parfois se ratatinent.

Les fluctuations de rendement causées par le gel et la sécheresse affectent grandement l'industrie du bleuet nain dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean. D'autre part, il serait important de compter sur une production annuelle constante et de bonne qualité pour assurer le développement de nouveaux marchés et la consolidation de ceux déjà acquis.

Or l'irrigation par aspersion permet de lutter contre les dommages attribués à ces deux paramètres climatiques. Une irrigation permettant de maintenir l'eau sous forme de glace humide autour des fleurs ou des fruits protègent les plants des dommages causés par le gel radiatif (Collomb, 1961), alors que cette même méthode permet également de prévenir les conséquences néfastes d'un déficit hydrique sur les plants. L'irrigation contre le gel radiatif est cependant plus difficile à justifier sur le plan économique; en effet, une telle irrigation exige que le système couvre l'ensemble de la bleuettiére au moment du gel, ce qui n'est pas nécessaire lors d'une irrigation contre la sécheresse.

Avec l'intensification de la culture du bleuet nain, l'irrigation contre la sécheresse pourrait devenir nécessaire comme assurance contre les pertes de rendement et agir ainsi comme agent stabilisateur de cette production souvent irrégulière (Benoit *et al.*, 1984).

Selon Sylvestre et Lavoie (1973), la nappe d'eau souterraine des bleuettières régionales serait située bien au-dessous de trois mètres et la texture du sol (sableux, classifié comme étant un podzol humo-ferrique) est l'indice d'une faible capacité de rétention en eau. De plus, la couche de matière organique est assez mince et possède un faible pouvoir de rétention de

l'eau. On suppose donc que les plants de bleuets nécessitent de fréquentes irrigations lors de saisons sèches ou lorsque les précipitations estivales sont inadéquates. Pour maintenir la réserve en eau utile d'un sol sableux à un niveau normal, il est recommandé de débuter l'irrigation lorsque la tension de l'eau dans le sol atteint 30 à 40 kPa (Stegman *et al.*, 1980). La réserve en eau facilement utilisable devient dangereusement basse lorsque la tension de l'eau dans le sol monte à 60 et 70 kPa. Ces valeurs sont considérées comme des valeurs de stress hydrique (Stegman *et al.*, 1980).

Chez *V. angustifolium*, les conditions d'humidité du sol doivent être adéquates lors de la formation des fruits (Sylvestre et Lavoie, 1973). Le fruit requiert une grande quantité d'eau au moment où il acquiert une coloration rouge et subit un accroissement de poids et de diamètre (Hall et Forsyth, 1967). Certaines recherches démontrent des augmentations significatives de rendement suite à l'irrigation (Strutchtemeyer, 1953, 1956; Crane, 1966; Benoît *et al.*, 1984; Lemieux *et al.*, 1991). Young (1952) rapporte une augmentation significative de la taille des fruits suite à l'irrigation. De plus, la qualité des bleuets peut être améliorée par l'irrigation (Strutchtemeyer, 1956; Crane, 1966).

Suite à des expériences sur l'irrigation effectuées avec *V. corymbosum* et *V. ashei*, Haman *et al.* (1988) de même que Smajstrla *et al.* (1988) observèrent que la croissance est meilleure si les plants sont maintenus dans un sol à capacité au champ (10 kPa pour leurs expériences) comparativement à des plants soumis à différents niveaux de stress hydrique, soit 16 et 25 kPa. Chez *V. corymbosum* et *V. ashei*, certaines expériences concluent que l'irrigation permet d'augmenter la taille (Young, 1952) et la quantité de fruits produits (Andersen *et al.*, 1979; Hussin et Basiouny, 1984; Haman *et al.*, 1988), tout en améliorant leur qualité (Hussin et Basiouny, 1984; Haman *et al.*, 1988). Seuls Byers et Moore (1987)

n'ont observé aucune différence significative suite à l'irrigation concernant le rendement et la qualité des fruits. Suite à leur recherche sur l'irrigation dans les bleuetières, Sylvestre et Lavoie (1973) s'interrogent à savoir si l'irrigation d'une culture rustique comme le bleuet nain peut augmenter de façon importante le rendement.

Les hypothèses suivantes sont donc émises: le maintien de la teneur en eau du sol près de la valeur recommandée pour un sol sableux permet: 1) d'augmenter le rendement des plants de bleuet nain et 2) de modifier la qualité des fruits produits. Le terme «recommandé» fait référence aux valeurs de tensions de l'eau d'un sol sableux à ne pas dépasser si l'on veut maintenir sa réserve en eau utile à un niveau normal, soit 30 à 40 kPa (Stegman *et al.*, 1980). Ces hypothèses de travail se traduisent par les objectifs spécifiques suivant: vérifier si cette teneur en eau recommandée permet 1) d'augmenter le nombre de fruits produits, 2) d'augmenter la taille des fruits, 3) d'augmenter la masse de fruits, 4) de modifier l'apparence des fruits, 5) de modifier la qualité gustative des fruits et 6) de modifier la composition chimiques des bleuets.

Le chapitre I décrit l'expérience ayant servi à vérifier la première hypothèse de travail alors que le chapitre II fournit l'information nécessaire pour la vérification de la seconde hypothèse.

CHAPITRE I

EFFET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL SUR LE RENDEMENT DU BLEUET NAIN

1.1 INTRODUCTION

Hall *et al.* (1979) ont constaté qu'une sécheresse survenant à la fin de la saison de croissance végétative réduit le nombre de bourgeons floraux. Toutefois, les expériences effectuées par Trevett (1967) et par Benoît *et al.* (1984) démontrent que la variation de l'humidité du sol engendrée par l'irrigation lors de cette saison de croissance n'affecte pas le nombre de bourgeons floraux par tige, ni le nombre de tiges formées. Pour la portion de leur expérience effectuée en plein champ, Benoît *et al.* (1984) n'ont pas observé d'augmentation significative concernant le nombre de fleurs entre les témoins non irrigués et les plants cultivés à des tensions de 20 et 60 kPa.

Sylvestre et Lavoie (1973) affirment que les conditions d'humidité du sol doivent être adéquates lors de la formation des fruits. Le fruit nécessite une grande quantité d'eau au moment où il acquiert une coloration rouge et subit un accroissement de poids et de diamètre (Hall et Forsyth, 1967). Il a été démontré chez *V. corymbosum* et *V. ashei* que la croissance est meilleure si les plants sont maintenus dans un sol à capacité au champ (10 kPa), comparativement à des plants soumis à des tensions plus élevées de 16 et 25 kPa (Haman *et al.*, 1988; Smajstrla *et al.*, 1988).

Certaines recherches démontrent que l'irrigation chez *V. angustifolium* permet d'augmenter les rendements (Struchtemeyer, 1953, 1956; Crane, 1966; Benoît *et al.*, 1984; Lemieux *et al.*, 1991). Benoît *et al.* (1984) n'ont cependant pas observé d'augmentation significative du poids par fruit pour des plants soumis à des pressions de 20 et 60 kPa comparativement à des plants témoins non irrigués (pression non mentionnée). Young (1952), de même qu'Hall *et al.* (1979), affirment pourtant que l'irrigation augmente de façon substantielle la taille des fruits.

Chez *V. corymbosum* et *V. ashei*, plusieurs expériences ont démontré que l'irrigation permet d'augmenter de façon significative la masse totale de fruits récoltés (Andersen *et al.*, 1979; Hussin et Basiouny, 1984; Haman *et al.*, 1988), de même que leur taille (Young, 1952).

L'hypothèse voulant que le maintien de la teneur en eau du sol à une valeur recommandée pendant la plus grande partie de la saison de croissance puisse augmenter le rendement du bleuetier nain est donc soumise. Les objectifs spécifiques sont de vérifier si cette teneur en eau du sol permet d'augmenter 1) le nombre de fruits produits, 2) leur taille et 3) leur masse.

1.2 MÉTHODOLOGIE

1.2.1 Site

L'expérience s'est déroulée au cours de l'été 1993 dans la bleuetière publique Sainte-Élisabeth-de-Proulx située à environ 15 km du village de Sainte-Jeanne-d'Arc, au nord du Lac Saint-Jean (72°00', 48°89') (figure 1.1). Cette bleuetière est établie sur un loam sableux, appartenant à la classe des podzols humo-ferriques. Elle est reconnue pour être la plus productive de la région, probablement en raison d'une topographie relativement uniforme si on la compare aux autres bleuetières, de sa densité de recouvrement supérieure et de la qualité de la régie qu'on y effectue. Ses rendements sont effectivement supérieurs à ceux de la moyenne régionale depuis 1988 (tableau 1.1). Elle est également l'une des rares bleuetières régionales où des systèmes d'irrigation par aspersion sont installés en permanence et utilisés au besoin, lors de gels radiatifs ou de sécheresse.

Tableau 1.1: Rendements moyens (kg/ha) en bleuets récoltés à la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx et dans l'ensemble des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean depuis 1988.

Année	Rendements moyens (kg/ha)	
	Bleuetière Sainte- Élisabeth-de-Proulx	Ensemble des bleuetières régionales
1988	957	585
1989	884	413
1990	709	645
1991	1861	565
1992	606	330
1993	3743	757

Source: MAPAQ, Alma.

Il faut mentionner que les sites en production au cours des années 1991 et 1993 sont les plus riches de la bleuetière, ce qui explique des rendements nettement plus élevés pour ces deux années. De plus, la saison estivale 1991 fut considérée comme une année sèche dans la région et la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx est l'une des seules qui fut irriguée contre la sécheresse. Les faibles rendements obtenus pour l'année 1992 sont dûs à un gel radiatif intense survenu le 15 juin, en pleine période de floraison, gel qui a affecté la plupart des bleuetières régionales.

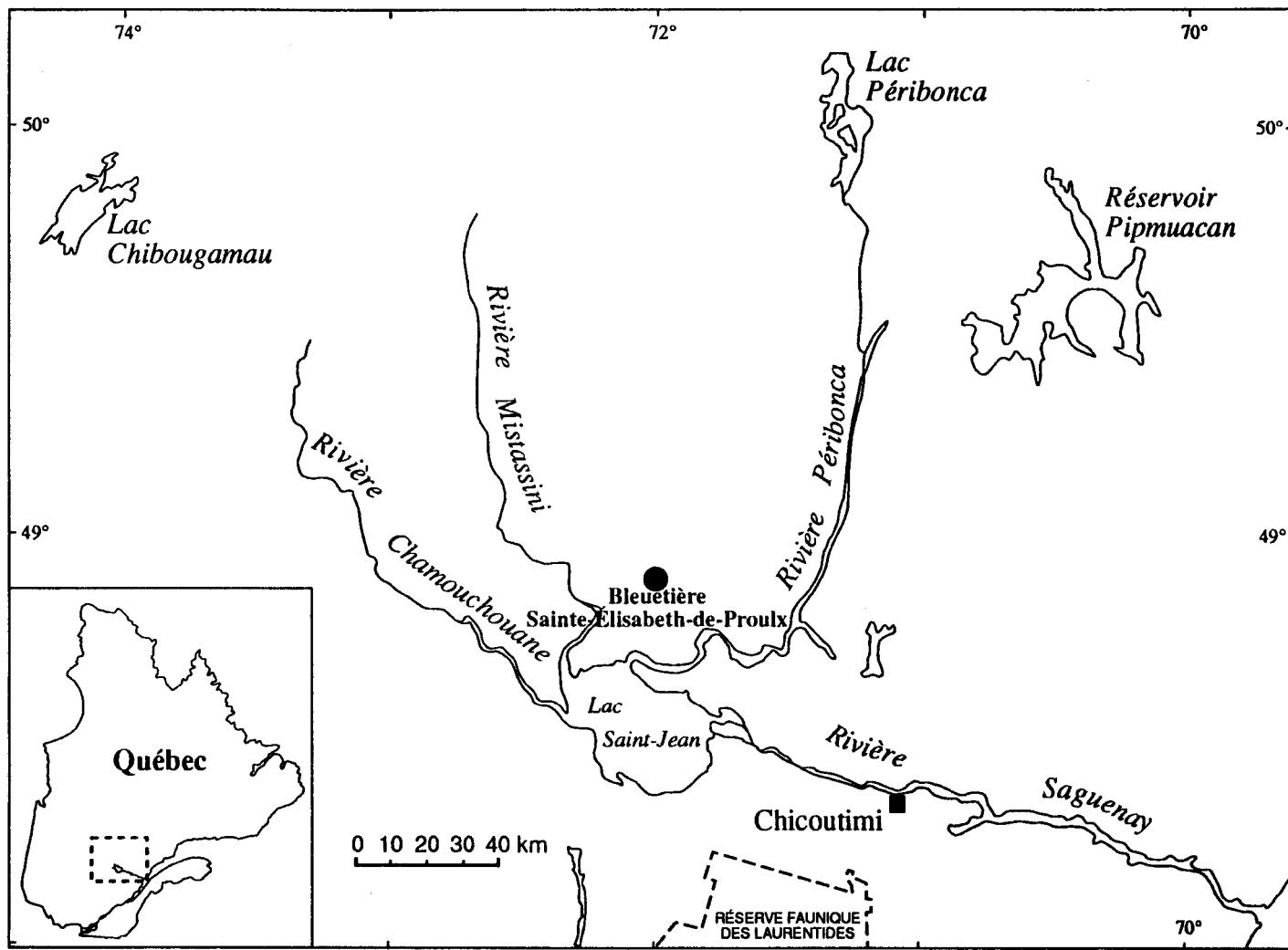


Figure 1.1: Carte situant géographiquement la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx où s'est déroulée l'expérience.

1.2.2 Traitements

Le site utilisé pour l'expérience a été brûlé à l'automne 1991. La croissance des tiges et l'initiation des bourgeons de grappe a eu lieu au cours de la saison estivale 1992. L'expérience a été effectuée au cours de l'été 1993, année où les plants ont produit des fleurs et des fruits.

Dix-huit parcelles d'une dimension de 3 m x 4 m ont été sélectionnées sur ce site en première année de production. L'emplacement des parcelles respectait certains critères d'uniformité du terrain: 1) topographie uniforme (absence de dunes et de creux), 2) recouvrement en plants de bleuets suffisamment dense et 3) épaisseur uniforme de la couche de matière organique. Les deux premiers critères ont été évalués de façon visuelle. L'estimation du pourcentage de recouvrement a été réalisée à l'aide d'une charte de points; il variait très peu d'une parcelle à l'autre, atteignant entre 60 et 70%. Les densités de tiges, de bourgeons floraux et de fleurs ont par la suite été mesurées au cours de la saison avant l'application des traitements et ont permis de valider le deuxième critère. Un échantillonnage du sol a permis d'évaluer le troisième critère.

Trois conditions de teneur en eau ont été appliquées parmi les 18 parcelles expérimentales: 1) condition naturelle (Cn), où les plants ont reçu uniquement les précipitations naturelles; 2) condition recommandée (Cr), où les plants ont été maintenus par irrigation à des tensions en eau variant entre 0 kPa et un maximum de 30 kPa, valeurs de tension permettent de maintenir la réserve en eau utile du sol à un niveau normal pour la croissance des plants (Stegman *et al.*, 1980); 3) condition sèche (Cs) où la tension de l'eau du sol pouvait atteindre 60 à 70 kPa, valeurs supérieures à celles habituellement reconnues

pour débuter l'irrigation et considérées comme des valeurs de stress hydrique (Stegman *et al.*, 1980).

Ces traitements ont été appliqués pendant une période de huit semaines, soit du 20 juin au 16 août. Un système fixe d'irrigation par aspersion muni de gicleurs assurait l'irrigation des parcelles Cr et Cs au besoin. Ce système fonctionne à l'aide d'une pompe puisant l'eau à même la rivière Petit Paris qui longe la bleuetière. La ligne de distribution d'eau alimente deux lignes parallèles de tuyaux secondaires qui ont été installées pour l'expérience. Les gicleurs fixés sur ces lignes secondaires étaient espacés de 18 m les uns des autres. Chaque parcelle avait son centre situé à équidistance d'un gicleur, soit à 7 m, distance à laquelle la quantité d'eau appliquée au sol lors de l'irrigation correspond à la quantité moyenne de la distribution du jet d'eau. L'uniformité d'application du jet d'eau a été vérifiée en installant une ligne de pluviomètres espacés d'un mètre les uns des autres et disposés de part et d'autre d'un gicleur. La quantité moyenne d'eau appliquée en une heure était de $2,8 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$ (tableau 1.2).

Tableau 1.2: Répartition de la quantité d'eau appliquée par le système d'irrigation.

Distance du gicleur (m)	Quantité d'eau appliquée ¹ (mm/hr)		
	Un côté	Autre côté	Moyenne
1	2,8	2,6	2,7
2	2,2	3,0	2,6
3	2,3	2,6	2,5
4	2,5	2,8	2,7
5	2,4	3,6	3,0
6	3,6	3,0	3,3
7	2,7	3,1	2,9
8	2,7	3,1	2,9
9	2,8	3,2	3,0
Moyenne:	2,7	3,0	2,8

¹Test effectué en présence de vents d'environ 10 km/hr.

1.2.3 Plan d'expérience

Les 18 parcelles de 12 m² chacune furent regroupées en six blocs complets. Les trois conditions de teneur en eau ont été réparties aléatoirement à l'intérieur de chaque bloc (figure 1.2). Un quadrat de 31,6 cm x 31,6 cm (0,1 m²) fut lancé au hasard dans chaque grande parcelle de 12 m² afin de délimiter une sous-parcelle à l'intérieur de laquelle certaines mesures de rendement ont été prises.

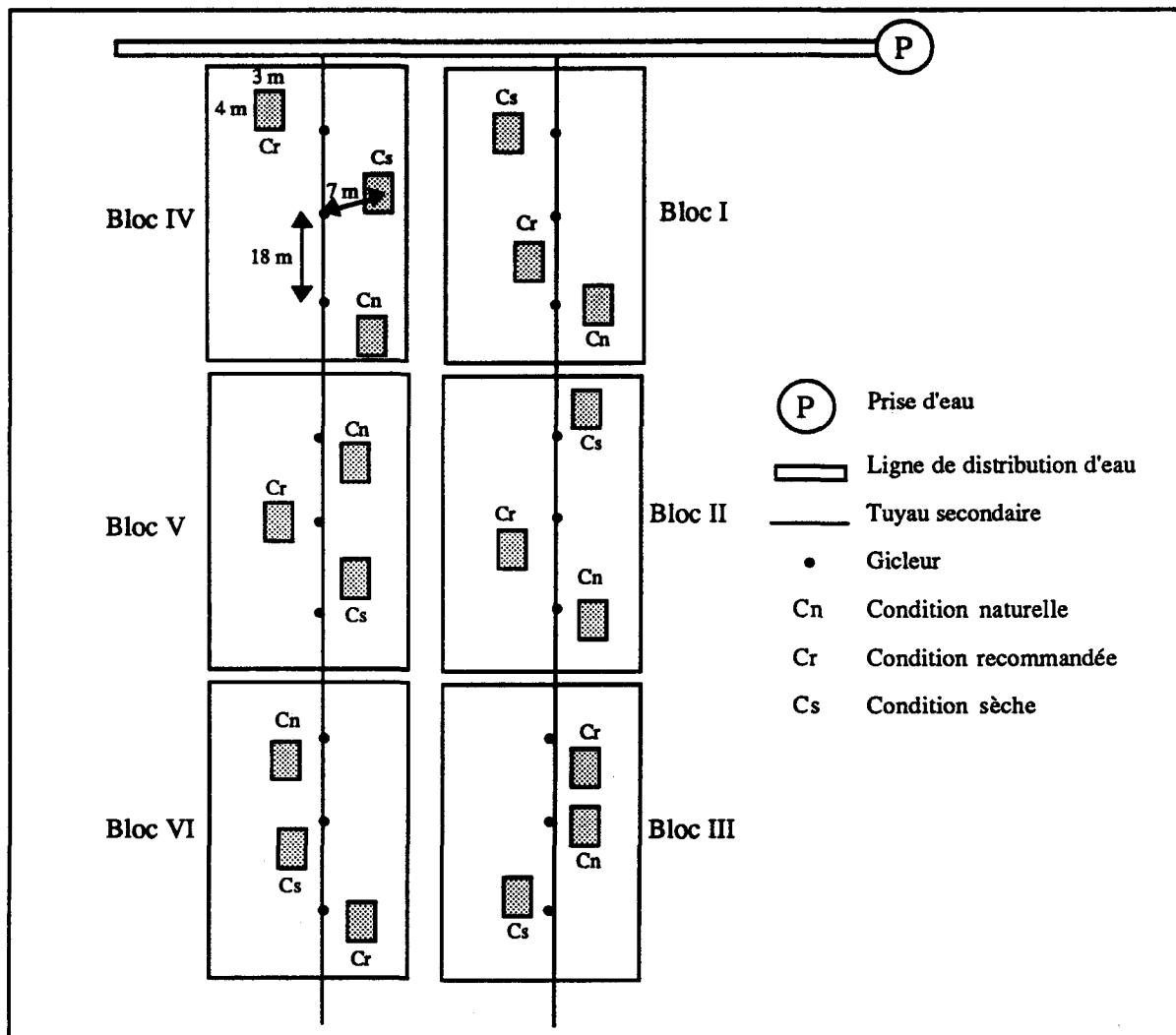


Figure 1.2: Schéma du dispositif expérimental représentant les 18 parcelles, regroupées en six blocs complets.

1.2.4 Caractérisation physique du site

1.2.4.1 Épaisseur de la couche de matière organique du sol

L'uniformité dans l'épaisseur de la couche de matière organique du sol faisant partie des critères de sélection des parcelles, celle-ci fut mesurée avant de débuter l'application des traitements. Dix mesures par parcelle de 12 m² ont été prises à l'aide d'une sonde à échantillonnage, selon un modèle en croix.

Les résultats obtenus indiquent que le sol du site choisi pour l'expérience semble posséder une couche de matière organique d'épaisseur relativement uniforme (tableau 1.3). Celle-ci se rapproche en moyenne de 25 mm.

Tableau 1.3: Épaisseur moyenne de la couche de matière organique mesurée sur l'ensemble des parcelles expérimentales avant l'application des traitements.

Traitements prévus	Épaisseur moyenne de la couche de matière organique (mm)
Cn	25,0±2,7
Cr	25,1±4,7
Cs	27,8±4,7

1.2.4.2 Analyses de sol et dose d'irrigation

En début de saison, des échantillons de sol ont été prélevés sur le site à l'aide d'une sonde à échantillonnage afin d'évaluer les teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement, deux données nécessaires au calcul de la dose d'irrigation.

Il existe une relation entre la pression ou succion que l'on applique à un échantillon de sol et sa teneur en eau (Gallichand et Brochu, 1983). Si l'on soumet un échantillon de sol à des pressions spécifiques, on peut obtenir la teneur en eau du sol à capacité au champ (30 kPa) et celle au point de flétrissement permanent (1500 kPa).

Quinze carottes de sol de 250 mm de profondeur furent prises et un mélange composite proportionnel des trois horizons de sol présents fut envoyé pour l'analyse des teneurs en eau à la station de recherche d'Agriculture et Agro-Alimentaire Canada de Sainte-Foy (tableau 1.4).

La différence entre ces deux valeurs correspond à la réserve en eau utile du sol (RU). Un calcul simple permet par la suite d'obtenir la dose d'irrigation appropriée qui correspond à la réserve en eau facilement utilisable (RFU) (Gallichand et Brochu, 1983; Arnal — cité dans Peyremorte, 1989).

Tableau 1.4: Teneurs en eau à la capacité au champ et au point de flétrissement permanent d'échantillons de sol provenant de la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx.

Teneur en eau à la capacité au champ (base sèche)	Teneur en eau au pt. de flétrissement perm. (base sèche) (%)
13,8	6,5

$$RFU (\text{mm}) = \frac{\text{RU} \times \text{Dsol} \times \text{Pr} \times \text{Fs}}{\text{Deau} \times 10}$$

où: RU (%) = Teneur en eau sur une base de poids sec à la capacité au champ - Teneur en eau sur une base de poids sec au point de flétrissement
 = 13,8% - 6,5%
 = 7,3%

Dsol (g cm^{-3}) = Densité apparente du sol
 = 1,5 g cm^{-3} (valeur standard pour un loam sableux)

Pr (cm) = Profondeur effective d'enracinement
 = 25,0 cm

Fs = Facteur de sensibilité au stress hydrique
 = 0,5 (valeur sécuritaire selon Gallichand et Brochu, 1983)

Deau (g cm^{-3}) = Densité de l'eau
 = 1,0 g cm^{-3}

$$\begin{aligned} RFU (\text{mm}) &= \frac{7,3 \% \times 1,5 \text{ g cm}^{-3} \times 25,0 \text{ cm} \times 0,5}{1,0 \text{ g cm}^{-3} \times 10} \\ &= 13,7 \text{ mm} \end{aligned}$$

La dose d'irrigation à appliquer est de 13,7 mm pour le Fs retenu.

1.2.5 Application des traitements

1.2.5.1 Description du système de protection des parcelles

Une structure spéciale a été aménagée en début de saison afin de protéger chacune des parcelles Cr et Cs lors des périodes de précipitations naturelles non désirées (photo 1.1).

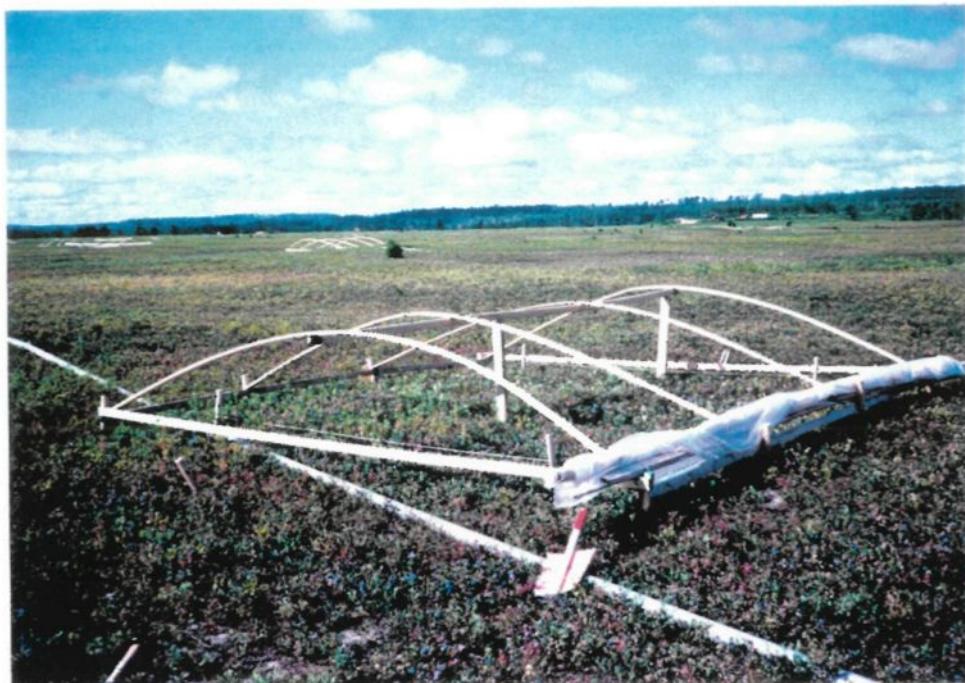


Photo 1.1: Structure aménagée pour protéger les parcelles de bleuets Cr et Cs lors des périodes de précipitations naturelles non désirées (structure ouverte).

Chaque structure est fabriquée d'une base en bois de 4,0 m x 4,8 m qui est surmontée de trois arches en bois également de 4,8 m chacun. Chaque arche est fixée sur la base à environ 200 mm du sol et atteint 1,5 m au centre de la parcelle, permettant ainsi une circulation adéquate de l'air lorsque la structure est recouverte. Cette base permet de supporter un plastique de serre transparent d'une épaisseur de 1,52 mm et fixé sur deux planches en bois de part et d'autre de la parcelle. Le plastique est maintenu en place à l'aide de six cordes

élastiques au pourtour de la parcelle. La structure, une fois recouverte (photo 1.2), possédait des dimensions suffisantes pour recouvrir et protéger l'ensemble de la parcelle lors des précipitations et éviter les infiltrations latérales d'eau. En effet, les dimensions de la structure dépassaient d'au moins un mètre celles de la parcelle. De cette façon, les infiltrations latérales d'eau ont pu être évitées, car le transport latéral de l'eau est faible dans un sol sableux. Ce phénomène fut tout de même vérifié à la suite de fortes précipitations, en creusant une tranchée reliant la zone protégée à l'intérieur d'une parcelle et la zone non protégée, située à l'extérieur de cette parcelle. Cette tranchée, d'une dimension d'environ 2 m de longueur par 300 mm de profondeur, a permis de constater que le sol de la parcelle est demeuré sec comparativement à celui situé en dehors de la zone protégée. Par temps clair, aucune parcelle n'était recouverte, chaque plastique étant alors roulé sur l'un des côtés de la structure en bois.



Photo 1.2: Structure recouverte pour protéger les parcelles de bleuets Cr et Cs lors des périodes de précipitations naturelles non désirées.

1.2.5.2 Évaluation des besoins en eau

L'évaluation des besoins en eau s'est fait à l'aide de tensiomètres. Le tensiomètre est un instrument qui mesure le potentiel matriciel du sol (tension). Il existe une relation linéaire entre le potentiel matriciel et la teneur en eau du sol; plus le potentiel matriciel est élevé, plus la teneur en eau du sol est faible (Gallichand et Brochu, 1983). Le tensiomètre peut donc servir à prédire le moment où il faut commencer l'irrigation. La lecture de son manomètre, qui varie de 0 à 100 kPa, est directement reliée au stress hydrique du sol. Une chute de la tension de l'appareil (lectures entre 0 et 15 kPa) indique que les besoins en eau des plants ont été comblés.

La tension de l'eau dans le sol fut notée à tous les jours en fin d'après-midi. Une valeur moyenne de cette tension fut obtenue grâce à l'installation de deux tensiomètres pour chaque traitement. Chaque tensiomètre, d'une longueur de 150 mm et fabriqué par la compagnie américaine «Irrrometer» fut disposé au centre de la parcelle, à une profondeur où l'activité racinaire est maximale (7 cm dans le cas du bleuetier nain).

Pour le traitement Cr, l'irrigation débutait lorsque la lecture moyenne des deux tensiomètres se situait entre 30 et 40 kPa, valeurs à laquelle on débute normalement l'irrigation dans les sols sableux (Stegman *et al.*, 1980).

Pour le traitement Cs, l'irrigation débutait lorsque la lecture moyenne des deux tensiomètres se situait entre 60 et 70 kPa. Ces valeurs sont supérieures à celles habituellement reconnues pour commencer l'irrigation et sont considérées comme des valeurs de stress hydrique (Stegman *et al.*, 1980).

L'irrigation fut effectuée préférablement en fin de journée et en absence de vent, afin de réduire au minimum les pertes par évapotranspiration et d'assurer la plus grande uniformité possible dans l'épaisseur de la lame d'eau atteignant les plants.

Les valeurs moyennes de tension de l'eau dans le sol pour chaque traitement sont présentées au tableau 1.5. Ces valeurs varient parfois beaucoup d'un appareil à l'autre et l'hétérogénéité du sol peut constituer un facteur expliquant cette variation. De plus, il se produit à l'occasion des chutes de tension à l'intérieur de l'appareil, chutes qui ne sont pas imputables à une augmentation de la teneur en eau du sol. Ces baisses de tension s'expliquent difficilement et font partie des inconvénients reliés à l'utilisation de cette méthode d'évaluation. Un entretien régulier des appareils et leur déplacement fréquent à l'intérieur des parcelles ont permis de minimiser ces inconvénients.

1.2.5.3 Quantités d'eau reçues et tension de l'eau dans le sol

Les quantités d'eau reçues, soit par précipitations naturelles ou par irrigation, furent mesurées journalièrement à l'aide de pluviomètres. Pour chaque condition de teneur en eau du sol, un appareil a été déposé au centre d'une parcelle recevant le traitement concerné.

Les quantités d'eau reçues ont fait varier la tension de l'eau dans le sol. Pour bien comprendre la logique d'application des traitements, le tableau 1.5 présente les fluctuations de ces deux paramètres conjointement.

Tableau 1.5: Quantités d'eau reçues (précipitations naturelles ou irrigation) et tension de l'eau dans le sol pour chaque traitement appliqué du 20 juin au 16 août 1993; comparaison avec les précipitations enregistrées aux stations météorologiques les plus proches.

Date j/mois	Condition naturelle (Cn) Quantité d'eau reçue (mm)	Tension de l'eau du sol (kPa)	Condition recommandée (Cr) Quantité d'eau reçue (mm)	Tension de l'eau du sol (kPa)	Condition sèche (Cs) Quantité d'eau reçue (mm)	Tension de l'eau du sol (kPa)	Normandin (mm)	Roberval (mm)	Jonquière (mm)	Notes
20/06	0,0	25	0,0	17	0,0	30	0,0	0,0	0,0	nd
21/06	0,0	27	0,0	17	0,0	35	2,3	12,6	13,0	nd
22/06	0,0	36	0,0	25	0,0	41	0,7	0,0	20,4	nd
23/06	0,0	37	0,0	0	0,0	37	0,0	0,0	0,0	nd
24/06	0,0	40	0,0	2	0,0	51	0,0	0,0	0,0	nd
25/06	0,0	39	0,0	7	14,0 ⁱ	63	0,0	0,0	0,0	nd
26/06	0,0	39	0,0	0	0,0	39	3,0	2,0	0,0	nd
27/06	0,0	41	0,0	11	0,0	31	0,7	4,2	7,7	Variable
28/06	0,4	33	0,0	29	0,0	44	31,9	10,8	9,0	Variable
29/06	11,5	15	0,0	5	0,0	13	9,2	9,0	2,0	Nuageux
30/06	0,0	11	0,0	12	0,0	19	0,0	0,8	2,2	nd
01/07	0,0	20	0,0	22	0,0	36	0,0	0,0	0,9	Soleil
02/07	0,0	22	0,0	31	0,0	45	0,0	0,0	0,0	Nuageux
03/07	10,6	6	11,0 ⁱ	5	0,0	58	0,8	1,4	3,0	Variable
04/07	1,4	nd	0,0	nd	0,0	nd	0,0	0,0	1,0	Nuageux
05/07	0,0	20	0,0	23	0,0	61	0,8	1,6	0,0	Soleil
06/07	0,0	33	0,0	32	0,0	69	0,0	0,0	0,7	Soleil
07/07	0,0	39	11,0 ⁱ	15	11,6 ^j	16	0,0	0,0	0,0	Soleil
08/07	0,0	19	0,0	10	0,0	13	0,8	2,0	0,0	nd
09/07	1,5	35	0,0	20	0,0	31	0,0	3,8	11,5	nd
10/07	5,9	16	0,0	26	0,0	43	0,0	2,4	2,0	Nuageux
11/07	0,8	29	8,0 ⁱ	37	0,0	50	0,8	0,0	1,0	Nuageux
12/07	7,0	12	0,0	16	0,0	57	4,2	6,8	6,0	Nuageux
13/07	2,6	15	0,0	25	0,0	76	0,0	1,0	0,0	Variable
14/07	4,2	19	9,7 ⁱ	30	11,3 ⁱ	9	4,0	4,6	3,0	Nuageux
15/07	7,8	13	0,0	7	0,0	9	8,0	12,6	0,0	Nuageux
16/07	0,9	8	0,0	nd	0,0	nd	0,0	0,8	1,0	Nuageux
17/07	0,0	13	0,0	19	0,0	44	0,0	0,0	1,0	nd
18/07	0,0	17	0,0	27	0,0	52	0,8	0,0	0,0	Soleil
19/07	1,8	21	0,0	29	0,0	57	1,5	3,2	1,0	Pluie
20/07	17,7	0	11,0 ⁱ	4	0,0	58	20,0	16,2	16,0	Pluie
21/07	2,0	1	0,0	16	0,0	58	0,4	1,2	3,8	Pluie
22/07	0,1	7	0,0	19	0,0	56	0,2	0,4	1,0	Nuageux
23/07	1,0	14	0,0	16	0,0	51	1,4	1,0	2,0	Nuageux
24/07	0,0	10	0,0	nd	0,0	nd	0,0	0,0	1,0	Nuageux
25/07	0,0	12	0,0	23	8,0 ⁱ	83	0,0	0,0	0,0	Soleil
26/07	0,0	15	0,0	32	0,0	41	10,6	1,6	6,0	Soleil
27/07	11,4	1	12,2 ⁱ	19	0,0	35	6,1	5,6	12,9	Nuageux
28/07	0,5	5	0,0	16	0,0	36	0,8	0,2	3,0	Variable
29/07	0,5	5	0,0	21	0,0	41	5,3	20,4	4,0	Nuageux
30/07	61,8	0	61,8	19	61,8	2	3,1	2,2	25,0	Pluie
31/07	4,9	6	0,0	11	0,0	10	0,0	3,2	1,0	Soleil
01/08	0,0	7	0,0	11	0,0	19	0,0	0,0	0,0	Soleil
02/08	0,0	8	0,0	nd	0,0	31	2,3	0,4	3,0	Nuageux
03/08	2,2	7	0,0	nd	0,0	nd	0,8	0,0	0,0	Pluie
04/08	11,1	0	0,0	nd	0,0	nd	1,5	3,8	5,0	Variable
05/08	0,0	5	0,0	nd	0,0	nd	0,0	0,4	1,0	Variable
06/08	5,9	5	2,1	11	0,0	35	3,0	1,4	1,0	Variable
07/08	0,0	8	0,0	13	0,0	40	0,8	1,6	1,0	Soleil
08/08	0,0	7	0,0	12	0,0	49	1,5	2,0	0,0	Soleil
09/08	5,8	1	0,0	12	0,0	54	14,8	7,2	1,0	Variable
10/08	3,8	3	0,0	13	0,0	60	4,2	2,4	3,8	Variable
11/08	6,3	1	0,0	13	2,3	65	12,6	17,2	9,1	Nuageux
12/08	0,0	7	0,0	12	0,0	66	0,4	0,0	13,0	Nuageux
13/08	0,0	2	0,0	14	0,0	64	0,4	0,0	1,0	Soleil
14/08	3,2	4	3,2	10	0,0	61	0,0	0,0	0,0	Variable
15/08	0,0	8	0,0	13	0,0	70	0,0	0,0	0,0	Soleil
16/08	0,0	nd	0,0	nd	0,0	nd	14,4	25,6	3,0	Nuageux
Total	194,6	moy.15	130,0	moy.17	109,0	moy.43	174,1	193,6	204,0	

nd: donnée non disponible

i: eau reçue par irrigation

Les parcelles sous condition naturelle ont reçu la plus grande quantité d'eau, soit 194,6 mm. Les parcelles Cr ont bénéficié de six périodes d'irrigation (3, 7, 11, 14, 20 et 27 juillet). Elles ont reçu 11,5 mm d'eau en moyenne par période d'irrigation, une dose légèrement inférieure à celle prévue, soit 13,7 mm. Les parcelles Cs ont été irriguées quatre fois (le 25 juin, les 7, 14 et 25 juillet). Elles ont reçu 11,2 mm d'eau en moyenne par période d'irrigation et ces périodes ont été davantage espacées dans le temps. Les faibles quantités d'eau reçues en dehors de ces dates correspondent à des périodes de précipitation naturelle trop petite pour justifier le recouvrement des structures par les plastiques protecteurs.

À la suite des périodes d'irrigation contrôlées, la tension de l'eau dans le sol retombait entre 0 et 15 kPa dans le cas du traitement Cr, valeurs de tension correspondant à la capacité au champ. Pour toute la durée d'application des traitements, les moyennes observées de la tension de l'eau dans le sol sont similaires pour les parcelles Cn et Cr (respectivement de 15 et 17 kPa) et se rapprochent de la capacité au champ, même si la quantité d'eau reçue au total est plus élevée pour les parcelles Cn. Pour le traitement Cs, la tension a été maintenue généralement plus élevée, soit 43 kPa. Pendant les 57 jours qu'a duré l'expérience, les plants Cs ont été soumis pendant 31 jours à des tensions supérieures à 40 kPa, dépassant celles recommandées pour débuter l'irrigation. De plus, les plants Cs ont été soumis pendant dix de ces 31 jours à des tensions supérieures à 60 kPa, valeurs de tension représentant des conditions de sécheresse.

Un orage violent survenu le 30 juillet a brisé le rythme des traitements. Les structures protectrices n'ont pas résisté aux forts vents et aux 61,8 mm de pluie tombés en 20 minutes et l'ensemble des parcelles ont reçu cette lame d'eau.

Par la suite, les plants recevant le traitement Cr ont reçu de faibles quantités d'eau dont une irrigation naturelle incontrôlée le 14 août, deux jours avant la cueillette. Les bleuets provenant de ce traitement ont été cueillis alors que la tension de l'eau dans le sol à la veille de la cueillette n'était que de 13 kPa. Ceux des parcelles Cn ont été cueillis alors que celle-ci était à 8 kPa. Quant aux plants Cs, la tension a été maintenue élevée jusqu'à la fin de l'expérience suite à l'orage du 30 juillet, particulièrement pendant les six derniers jours avant la cueillette. Les fruits des parcelles Cs ont été cueillis sous stress hydrique puisque la veille, la tension indiquait 70 kPa.

Le tableau 1.5 présente également les précipitations enregistrées aux stations météorologiques les plus proches de la bleuetière (Normandin, Roberval et Jonquière) afin de tenter de caractériser le climat de celle-ci (Environnement Canada, 1993). La répartition des précipitations enregistrées dans ces stations météorologiques ne correspond pas à celle enregistrée à la bleuetière même (tableau 1.5). Ce phénomène a déjà été constaté pour les températures par Bouchard *et al.* (1982). Il existe une différence significative entre les mesures du mésoclimat régional et celles du microclimat relatif à une bleuetière (Bouchard *et al.*, 1982). De plus, la bleuetière expérimentale n'est pas située à proximité d'une station météorologique. À la station météorologique de Normandin, située légèrement à l'ouest de la bleuetière, il est tombé 174,1 mm de pluie pendant la période d'application des traitements, ce qui est inférieur aux précipitations enregistrées à la bleuetière. À la station météorologique de Roberval, située beaucoup plus au sud et légèrement à l'ouest de la bleuetière, les précipitations ont été similaires pendant la période d'application des traitements, quoique la répartition de ces pluies ne soit pas exactement la même. À la station météorologique de Jonquière, située davantage au sud et à l'est de la bleuetière que celle de Roberval, des précipitations supérieures ont été enregistrées pendant la période d'application des traitements et la répartition de ces pluies est également différente. Cette variabilité spatiale des

précipitations d'une station à l'autre est fortement influencée par les effets orographiques et convectifs (P.-A. Dubé, comm. pers.).

Il est donc difficile de s'appuyer sur les données météorologiques enregistrées dans ces stations pour tenter de caractériser le climat de la bleuetière au cours des mois d'été 1993. Toutefois, si l'on compare les précipitations obtenues pour les mois de mai, juin, juillet et août 1993 aux stations de Normandin et Roberval par rapport aux normales calculées sur une base de 30 ans (1961 à 1990), il n'est tombé respectivement que 21 mm et 7,3 mm d'eau supplémentaire. Et il est intéressant de constater que les précipitations des mois de juin et août furent supérieures en moyenne (32% et 27% respectivement), alors que les précipitations du mois de juillet furent inférieures de 26% en moyenne. Puisque que ces deux stations sont suffisamment éloignées l'une de l'autre et qu'on y retrouve les mêmes tendances par rapport aux normales, il est probable que le même phénomène climatique ait prévalu dans la bleuetière expérimentale. On peut donc supposer que seul le mois de juillet a été plus sec par rapport à la normale et c'est effectivement en juillet que les périodes d'irrigation ont été les plus fréquentes.

1.2.6 Paramètres mesurés

Dans le but de vérifier l'uniformité des parcelles, les mesures de densité suivantes ont été prises à l'intérieur des sous-parcelles de 0,1m² avant l'application des traitements: nombre de tiges, de bourgeons floraux et de fleurs. Le 26 mai, les tiges et les bourgeons floraux ont été dénombrés. La floraison a débuté le 5 juin. Le comptage des fleurs s'est effectué le 10 juin.

Pour répondre aux objectifs de rendement, le nombre, la masse et la taille des fruits ont été mesurés. Le dénombrement des fruits à l'intérieur des sous-parcelles de 0,1 m² s'est

effectué le 2 août. L'ensemble des parcelles fut récolté à la main le 16 août. La masse totale des fruits a été mesurée à la fois dans les parcelles de 12 m² et les sous-parcelles de 0,1 m². Immédiatement après la récolte, les bleuets cueillis dans les grandes parcelles furent tamisés à l'aide de deux treillis dont les mailles offraient des ouvertures respectives de 10 mm et 14 mm. Ces dimensions correspondent à celles utilisées pour le tri des bleuets suite à leur congélation en usine. Seuls ont été conservés les bleuets d'un diamètre supérieur à 10 mm lesquels comptaient la très grande majorité des fruits recueillis. Aucun bleuet ne dépassait 14 mm en diamètre. Ce tamisage a permis d'éliminer les bleuets trop petits et immatures et de conserver uniquement ceux de dimension uniforme pour les analyses.

1.2.7 Traitement des données

Les valeurs moyennes du nombre de fruits, de la masse de fruits récoltés dans les sous-parcelles et dans les grandes parcelles de 12 m², ainsi que celles de la proportion de fruits dont le diamètre est supérieur à 10 mm, ont été comparées entre les traitements par l'analyse de variance à un critère de classification développée par Fisher. Lorsque l'analyse de variance donnait des différences significatives entre les traitements, des contrastes ont permis de vérifier d'où provenaient ces différences. Les données permettant de calculer la proportion de fruits dont le diamètre est supérieur à 10 mm ont d'abord fait l'objet d'une transformation en arcsinus de la racine carrée pour respecter la normalité des résidus et l'homogénéité des variances (Sokal et Rohlf, 1981). L'analyse de variance a été effectuée en suivant la procédure GLM de SAS (SAS Institute, 1988).

1.3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Le tableau 1.6 présente les valeurs moyennes obtenues pour les densités de tiges, de bourgeons floraux et de fleurs mesurées en début de saison de croissance.

Ces valeurs ont permis de calculer le nombre moyen de bourgeons floraux/tige et de fleurs/bourgeon floral. On a obtenu 2,6 à 3,1 bourgeons floraux/tige et 3,5 à 4,6 fleurs/bourgeon floral, ce qui correspond aux valeurs moyennes retrouvées dans la littérature (Trevett, 1967; Benoît *et al.*, 1984). Toutefois, le potentiel de production semblait naturellement plus faible chez les sous-parcelles Cs avant le contrôle de la teneur en eau dans ces parcelles.

Il existe une corrélation évidente entre le nombre de fleurs retrouvées au 10 juin par unité de surface avant traitement et le nombre de fruits produits au 2 août par unité de surface après traitement (tableaux 1.6 et 1.7). Cependant, l'analyse de variance indique que les différents traitements n'ont eu aucun effet significatif sur le nombre de fruits produits/0,1 m² ($p \leq 5\%$).

Tableau 1.6: Densités de tiges, de bourgeons floraux et de fleurs mesurées sur des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) au cours de la saison de production 1993, avant le contrôle de la teneur en eau du sol dans les parcelles.

Traitements prévus	Nombre de tiges au 26 mai	Nombre de bourgeons floraux au 26 mai	Nombre de fleurs au 10 juin
	/0,1 m ²	/0,1 m ²	/0,1 m ²
Cn	91±26	246±99	972±294
Cr	84±18	252±55	919±409
Cs	66±20	184±50	631±73

Tableau 1.7: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993 sur le nombre, la taille et la masse de fruits récoltés.

Traitements ¹	Nombre de fruits au 2 août /0,1 m ²	Proportion de fruits > 10 mm (%)	Masse de fruits	
			Sous-parcelles (kg/ha)	Parcelles de 12 m ² (kg/ha)
Cn (8 kPa)	559±143	21,05±13,43	15660±6724	8434,03±1857,27
Cr (13 kPa)	469±252	17,28±9,80	10500±5911	7753,19±2291,92
Cs (70 kPa)	404±94	17,12±8,35	9283±1758	8315,00±1407,70
P (ANOVA)	0,3860	0,1805	0,0405	0,8112

CONTRASTES:

Cn vs Cr	0,6280
Cn vs Cs	0,0159
Cr vs Cs	0,6328

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

La proportion de fruits dont le diamètre est supérieur à 10 mm n'a pas varié significativement ($p \leq 5\%$) avec la quantité d'eau reçue au cours de la saison de production 1993 (tableau 1.7).

La masse de fruits récoltés, mesurée à la fois dans les sous-parcelles de 0,1 m² et les grandes parcelles de 12 m² a montré une diminution significative dans les sous-parcelles seulement ($p \leq 5\%$) avec une réduction de la teneur en eau du sol, soit entre le traitement Cn et le traitement Cs (tableau 1.7).

L'irrigation est généralement reconnue pour augmenter le nombre, la masse et la taille des bleuets lorsque l'eau devient un facteur limitant au cours de la première année de production. Selon les résultats de cette expérience, seule la masse de fruits récoltés dans les sous-parcelles montre une augmentation significative avec un accroissement de la teneur en eau du sol ($p \leq 5\%$). Toutefois, la masse de fruits récoltés dans les grandes parcelles ne varie pas significativement entre les différentes conditions de teneur en eau du sol et ni le nombre, ni la taille des bleuets ne sont significativement supérieurs avec une augmentation de cette teneur en eau du sol ($p \leq 5\%$). Il est plus juste de tenir compte du résultat obtenu dans les parcelles de 12 m² étant donné qu'une plus grande surface se rapproche davantage de la réalité. Considérant l'ampleur de la variabilité des rendements entre les sous-parcelles, un nombre plus élevé de celles-ci aurait sans doute été approprié. Suite à ces constatations, il est justifié de dire que les différentes conditions de teneur en eau du sol n'ont pas affecté les rendements de façon significative ($p \leq 5\%$).

La différence de quantité d'eau reçue entre les parcelles Cr et Cs n'est que de 21,0 mm pour toute la saison de croissance. Cette différence de quantité d'eau reçue entre les traitements Cr et Cs semble insuffisante pour obtenir des variations significatives dans les résultats de rendement. Cependant, si l'on soustrait les 61,8 mm d'eau tombés lors de l'orage du 30 juillet, eau que les parcelles n'auraient pas dû recevoir, on obtient 68,2 mm au total pour le traitement Cr et 47,2 mm pour Cs. L'importance relative de la différence de 21,0 mm augmente alors considérablement. En fait, cette différence représente approximativement deux périodes d'irrigation supplémentaires pour le traitement Cr par rapport au traitement Cs pendant les huit semaines qu'a duré la période de contrôle de la teneur en eau dans les parcelles. Selon les valeurs présentées au tableau 1.5, le temps écoulé

entre deux périodes d'irrigation était en moyenne deux fois plus long pour les plants recevant le traitement Cs comparativement à ceux du traitement Cr.

La consigne de maintien des conditions de teneur en eau du sol a donc bien été respectée compte tenu des contraintes occasionnées par une expérience se déroulant en plein champ. La quantité d'eau reçue au sol a été contrôlée grâce aux structures protectrices, malgré certains facteurs environnementaux difficilement contrôlables en milieu naturel. Par exemple, la température et l'humidité de l'air sont des facteurs climatiques importants qui ont pu influencer les résultats de l'expérience. Pour les parcelles Cs, les tensions de l'eau dans le sol ont traduit à plusieurs reprises un stress hydrique, mais la température ambiante et l'humidité de l'air ne correspondaient pas toujours aux conditions climatiques qui prévalent en période de sécheresse. Lors de précipitations, les traitements Cr et Cs ne recevaient pas d'eau mais l'évapotranspiration était presque nulle, dû au taux élevé d'humidité de l'air. De plus, l'orage violent survenu le 30 juillet a brisé le rythme des traitements, à un moment où les fruits étaient en phase active de développement.

Suite à ces constatations, on ne peut affirmer que les plants ont souffert d'une sécheresse suffisamment marquée. Pour s'assurer d'avoir des conditions réelles de sécheresse, il aurait fallu contrôler encore plus efficacement les facteurs environnementaux avec une expérience connexe se déroulant en serre par exemple. La situation idéale aurait été sans doute une véritable sécheresse provoquée par Dame nature. Pour vraiment vérifier l'hypothèse de départ, une seconde année de terrain serait requise où l'on augmenterait le nombre de sous-parcelles. Il faudrait également augmenter le nombre de tensiomètres pour tenter de minimiser les variations de lectures de ces appareils d'une parcelle à l'autre, sinon utiliser la méthode TDR pour mesurer la teneur en eau du sol, méthode plus précise mais impliquant

d'autres types de contraintes. Et même si les conditions de teneurs en eau du sol ont été choisies selon des références fiables dans le domaine de l'irrigation, un traitement encore plus sévère que le traitement Cs pourrait être envisageable et permettrait d'évaluer la sensibilité des plants de bleuets à la sécheresse.

Les plants de bleuets sont-ils très affectés par les périodes de sécheresse qui peuvent survenir dans la région du Saguenay-Lac-Saint-Jean? Comme l'ont mentionné Sylvestre et Lavoie (1973) dans leur rapport de recherche sur l'irrigation dans les bleuetières: «Devrait-on s'attendre à obtenir de fortes augmentations de rendement avec des cultures rustiques en milieu sauvage?» Après tout le bleuetier nain est une plante bien adaptée à la fois au climat du nord et au microclimat semi-désertique qui prévaut dans une bleuetière; il croît naturellement sur des sols sableux relativement pauvres et dont la mince couche de matière organique retient peu d'eau.

Les rendements des bleuetières régionales ont considérablement augmenté depuis qu'elles sont aménagées et ces augmentations de rendement sont attribuées à de meilleures pratiques culturales. L'application d'herbicides a permis de réduire de façon importante la colonisation par les mauvaises herbes, réduisant du même coup la compétition qu'elles entretenaient avec les plants de bleuet et améliorant la densité de recouvrement de ceux-ci. L'irrigation contre la sécheresse demeure marginale parmi les pratiques culturales courantes et s'avère coûteuse. La probabilité qu'une sécheresse au cours de la saison de production cause des dommages notables dans les bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean est de 10% (Bouchard et Guignard, 1986). L'irrigation devient donc rentable une année sur dix, lorsqu'il y a une sécheresse réelle. La sécheresse la plus récente remonte à 1991, l'été des feux de forêts au Québec. Les mois de juin et juillet ont été particulièrement secs. En juin,

les stations météorologiques de Normandin et Roberval ont enregistré des précipitations inférieures de 58% et 56% respectivement par rapport aux normales calculées à partir des données météorologiques des 30 dernières années (1961-1990) (Environnement Canada, 1991). En juillet, ce sont 47% et 33% moins de précipitations comparativement aux normales que ces deux mêmes stations ont enregistrés. Mais le mois d'août a été arrosé légèrement au-dessus des normales, ce qui a permis de «ratrapper» une partie des dégâts avant la cueillette. Une baisse de rendement s'est tout de même fait sentir. Il est intéressant de comparer les rendements de la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx avec ceux de l'ensemble des bleuetières de la région obtenus à la suite de cette saison sèche (tableau 1.1, p. 9). Les rendements de la bleuetière Sainte-Élisabeth-de-Proulx ont été plus de trois fois supérieurs en 1991. Cela s'explique entre autres par le potentiel élevé de cette bleuetière et particulièrement du site en production au cours de cette saison, mais peut-être aussi par le fait que des systèmes d'irrigation y sont installés en permanence contrairement aux autres bleuetières, majoritairement non irriguées.

CHAPITRE II

EFFET DE LA TENEUR EN EAU DU SOL SUR LA QUALITÉ DES FRUITS DU BLEUET NAIN

2.1 INTRODUCTION

Il existe très peu de recherches concernant la qualité des fruits du bleuet nain. Strutchemeyer (1956) et Crane (1966) ont mentionné que la qualité peut être améliorée par l'irrigation, sans toutefois stipuler sur quels paramètres ont été basées ces affirmations. Chez *V. corymbosum* et *V. ashei* par contre, de nombreuses expériences ont été effectuées pour évaluer les différents paramètres reliés à la qualité des fruits.

La qualité du bleuet, qu'il soit destiné au marché frais ou à la transformation, est reliée à son apparence, à sa saveur et à sa composition chimique.

L'apparence du fruit est reflétée entre autres par sa couleur, sa fermeté et sa taille. Le goût et l'arôme du fruit permettent de caractériser sa saveur. Quant à sa composition chimique, elle est principalement déterminée par la teneur en eau, la teneur en sucres, l'acidité et le contenu en solides.

Tous ces paramètres reliés à la qualité du bleuet varient avec sa maturation. Une bonne maturation n'est pas suffisante pour obtenir de bons fruits, mais c'est une condition complémentaire indispensable (Alavoine *et al.*, 1986).

La couleur des fruits est directement affectée par leur degré de maturité (Shewfelt, 1993) et est souvent l'indicateur de maturité le plus visible (Alavoine *et al.*, 1986). Selon Gagnon et Simard (1984), la classification de *V. angustifolium* en terme de qualité se fait à partir du niveau de maturation (teneur en Brix) et de la teinte du fruit. Selon ces mêmes auteurs, la maturation du bleuet n'est pas synchronisée et l'on retrouve des fruits à tous les niveaux de maturation au moment de la cueillette. Chez *V. corymbosum*, la couleur bleue constitue un critère de choix pour évaluer la maturité (Forsyth et Hall, 1969 cités dans Hall *et al.*, 1970). La fermeté permet également d'estimer le niveau de maturité (Alavoine *et al.*, 1986). La baisse de fermeté d'un fruit traduit son vieillissement et une dégradation du lien intercellulaire (Alavoine *et al.*, 1986). Elle est un important critère de sélection chez *V. corymbosum* (Ballinger *et al.*, 1973) puisqu'elle permet au fruit de mieux supporter le transport. La fermeté du fruit est souvent reliée à sa taille. Suite à des expériences sur plus de 11 espèces de bleuets, Ballington *et al.* (1984) concluent qu'il existe une corrélation négative entre la taille des fruits et leur fermeté, alors que plus récemment Lenartowicz *et al.* (1990) ont observé une fermeté similaire pour des bleuets de tailles très variées chez l'espèce *corymbosum*.

Le goût et l'arôme des bleuets dépendent également de la maturité et peuvent être évalués par des analyses sensorielles, à l'aide de goûteurs spécialisés. Seuls Lenartowicz *et al.* (1990) ainsi que Makus et Morris (1986 et 1987) rapportent des résultats de ce type d'analyses chez le bleuet qu'ils ont utilisées pour comparer la qualité des fruits de *V. corymbosum* avec ceux de *V. ashei*. Des mesures de la composition chimique des bleuets peuvent compléter l'évaluation de leur saveur. Ces mesures concernent la teneur en sucres, l'acidité et la relation sucres/acidité. Le rapport solides solubles/acidité a une influence décisive sur la saveur chez *V. corymbosum* (Lenartowicz *et al.*, 1990). Les acides

organiques affectent également la saveur des fruits (Rice et Pederson, 1954 cités dans Markakis *et al.*, 1963; Parliment et Kolor, 1975; Wills *et al.*, 1989). Ils participent activement au métabolisme du fruit (Hulme, 1958; Thimann et Bonner, 1950 tous deux cités dans Markakis *et al.*, 1963), mais il existe très peu de recherches sur leur évolution biochimique ou physiologique dans le fruit en relation avec la composition chimique de celui-ci. Gagnon et Simard (1984) ont identifié trois acides organiques majeurs chez *V. angustifolium*: l'acide quinique, l'acide malique et l'acide citrique.

Chez les fruits en général, la teneur en sucres et les arômes augmentent avec la maturation, alors que la fermeté et l'acidité des fruits diminuent (Alavoine *et al.*, 1986). On a observé chez *V. corymbosum* que l'acidité du fruit diminue avec l'avancement de la maturité, tandis que les teneurs en solides solubles et en sucres de même que le rapport solides solubles/acidité augmentent (Ballinger et Kushmann, 1970, Woodruff *et al.*, 1960). Chez *V. angustifolium*, Barker *et al.* (1963) ont noté que la concentration en sucres augmente avec l'âge physiologique du fruit.

L'acidité titrable, le contenu en solides solubles et les rapports solides solubles/acidité ou sucres/acidité permettent donc d'évaluer le degré de maturité chez *V. corymbosum* et par le fait même, sa qualité de conservation (Bowers et Dewey, 1961; Woodruff *et al.*, 1960; Galletta *et al.*, 1971).

Des expériences effectuées avec *V. corymbosum* montrent que la détérioration du fruit est corrélée linéairement et d'une manière positive aux rapports solides solubles/acidité (Bowers et Dewey, 1961) et sucres/acidité (Woodruff *et al.*, 1960; Bowers et Dewey, 1961). L'acidité des bleuets de l'espèce *corymbosum* semble supporter un mécanisme de résistance

envers les organismes produisant des moisissures (Ballinger et Kushmann, 1970). Galletta *et al.* (1971) ont d'ailleurs observé une relation entre un haut taux d'acidité des fruits (ou un faible rapport solides solubles/acidité) et un faible pourcentage de moisissures.

Les rapports solides solubles/acidité ou sucres/acidité permettent également d'évaluer l'aptitude de *V. corymbosum* à la transformation (Galletta *et al.*, 1971). Selon Galletta (1975, cité dans Ballington *et al.*, 1984), les bleuets pour le marché frais doivent être sélectionnés pour leurs taux élevés de solides solubles et d'acidité, tout en ayant un arôme et une texture agréables. Quant aux bleuets destinés à la transformation, ils doivent également avoir un taux élevé d'acidité car la saveur est «diluée» lors du processus de transformation (Galletta *et al.*, 1971).

Tous ces paramètres utilisés pour évaluer la qualité des fruits, même s'ils dépendent de la génétique, peuvent varier considérablement selon le climat, les caractéristiques du sol et les pratiques culturales (Ballington *et al.*, 1984). Les fluctuations des facteurs environnementaux telles la température et l'humidité affectent la durée du mûrissement des fruits et, de ce fait, font varier les paramètres reliés à la qualité des bleuets. Lors de déficit en eau, une irrigation trop faible ou nulle perturbe souvent la croissance des fruits, donc leur qualité (Alavoine *et al.*, 1986).

Une variation de l'humidité du sol peut effectivement modifier les paramètres reliés à la qualité des fruits. L'irrigation a été longtemps accusée d'être la principale cause de la mauvaise qualité gustative des fruits mais en fait, seuls les excès d'irrigation peuvent avoir une action néfaste sur leur qualité gustative (Alavoine *et al.*, 1986). Des recherches effectuées chez *V. corymbosum* et *V. ashei* par Bowers et Dewey (1961) montrent que

l'irrigation peut affecter l'acidité et le contenu en sucres. Suite à des expériences sur *V. ashei*, Andersen *et al.* (1979) ont observé que la concentration en solides solubles a diminué suite à l'irrigation et attribuent cette diminution à un effet de dilution, alors qu'Hussin et Basiouny (1984) ont noté une augmentation des solides solubles lorsque les plants recevaient une plus grande quantité d'eau. Hussin et Basiouny (1984) ont également constaté une diminution significative du pH et une accélération du processus de maturation des fruits suite à l'application de différents traitements d'irrigation.

L'hypothèse voulant que le maintien d'une teneur en eau du sol près de la valeur recommandée pour un sol sableux puisse modifier la qualité des fruits du bleuet nain est donc soumise. Les objectifs spécifiques de ce chapitre sont de vérifier si cette teneur en eau modifie 1) l'apparence du fruit, 2) sa qualité gustative et 3) sa composition chimique comparativement à une teneur plus basse et à la teneur observée sous condition naturelle.

2.2 MÉTHODOLOGIE

2.2.1 Site, application des traitements et plan d'expérience

La première portion de l'expérience s'est déroulée en bleuetière et fait référence au chapitre I concernant le site (section 1.2.1), les traitements et leur application (sections 1.2.2 et 1.2.5), ainsi que le plan d'expérience regroupant les parcelles expérimentales (section 1.2.3).

2.2.2 Paramètres mesurés

Suite à la cueillette effectuée le 16 août 1993, les bleuets ont été transportés au Centre de recherche et de développement sur les aliments (CRDA) à Saint-Hyacinthe où les analyses ayant trait à la qualité des fruits ont été effectuées.

La couleur, la taille et la fermeté ont été évaluées dans le but de vérifier si le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol modifie l'apparence des fruits du bleuet nain.

La couleur a été évaluée de façon visuelle en séparant les bleuets bleus des autres bleuets (blancs, verts ou rouges) lors de la cueillette des sous-parcelles de 0,1 m². La proportion de bleuets mûrs (bleus) ainsi mesurée a servi d'indicateur de maturité.

La taille a été évaluée suite au tamisage des bleuets récoltés dans les grandes parcelles de 12 m². La taille des bleuets est considérée à la fois comme mesure de qualité et de rendement. Les résultats ont été présentés à la section 1.3 du chapitre I.

La fermeté des bleuets a été évaluée par des analyses sensorielles. Ce type d'analyse a également permis de vérifier si le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol modifie la saveur des bleuets. Les intensités de la saveur sucrée, de la saveur acide, de la saveur de bleuet et de la saveur étrangère ont ainsi été évaluées. L'évaluation de la saveur étrangère permet de détecter tout ce qui ne goûte pas spécifiquement le bleuet, tels goûts de feuillage, de bois, de moisissures et de fermentation.

Des analyses chimiques ont permis de mesurer la composition chimique des bleuets cueillis dans les différentes parcelles. La teneur en eau, le pH, l'acidité titrable, le contenu en solides solubles, le contenu en solides insolubles dans l'alcool, les teneurs en sucres et en acides organiques des fruits ont tous été déterminés par ces analyses.

2.2.3 Analyses sensorielles

2.2.3.1 Plan d'expérience

Pour les analyses sensorielles, un maximum de six échantillons pouvait être présenté aux goûteurs, ce qui nous a obligé à éliminer un traitement de l'analyse. Seuls les traitements Cr et Cs ont été présentés car parmi les trois traitements, ce sont les seuls dont la teneur en eau du sol a été contrôlée; trois répétitions de chaque traitement ont été analysées en une seule séance. Chaque échantillon, représentant une répétition d'un même traitement pour les analyses sensorielles, provenait en fait de deux répétitions différentes du même traitement sur le terrain.

Les six échantillons ont été présentés de façon monadique à 20 juges semi-entraînés, dans un plan en blocs complets aléatoires.

2.2.3.2 Préparation et présentation des échantillons

Suite à la cueillette, les bleuets ont été conservés à 1°C pendant environ 36 heures. En préparation aux tests sensoriels, ils ont été séchés avec un ventilateur et conditionnés à température de la pièce pendant deux heures. Ils ont été présentés aux juges dans des contenants de plastique de 200 ml munis de couvercle, à des températures variant de 22°C à 24°C.

2.2.3.3 Évaluation sensorielle

Les goûteurs ont évalué la fermeté, l'intensité de la saveur sucrée, de la saveur acide, de la saveur de bleuet et de la saveur étrangère sur une échelle de niveaux 1 à 6, présentant les caractéristiques suivantes:

- | | |
|---|--------------|
| 1 | = absence |
| 2 | = très léger |
| 3 | = léger |
| 4 | = modéré |
| 5 | = élevé |
| 6 | = très élevé |

2.2.4 Analyses chimiques

2.2.4.1 Préparation des échantillons

Les analyses chimiques ont été effectuées sur les fruits provenant des trois traitements. Suite à la récolte, les bleuets ont été transportés du point de récolte au CRDA à température ambiante. Le délai entre la cueillette du fruit et son arrivée au CRDA varie de 20 à 30 heures. Dès leur arrivée, les bleuets ont été réfrigérés puis congelés à -40°C jusqu'à leur utilisation pour analyses.

Chacune des analyses chimiques a nécessité la préparation préalable d'une purée à partir des fruits décongelés. À la sortie du congélateur, le poids requis de bleuets pour l'analyse à effectuer fut déposé dans un bêcher et laissé à température de la pièce dans un bac rempli

d'eau chaude pendant une heure. Le contenu de chaque bécher fut passé au polytron (malaxeur ultrasonique à haute vitesse) pendant une minute, dans le but d'obtenir une purée uniforme. Des répétitions de mesures ont été effectuées pour chaque analyse, le nombre variant d'une analyse à l'autre.

2.2.4.2 Détermination de la teneur en eau

Pour chacune des six répétitions de chacun des traitements, six échantillons ont été pris, totalisant 36 échantillons pour chaque traitement. Chaque échantillon a nécessité les manipulations suivantes.

Quatre grammes de purée de bleuets ont été pesés analytiquement et déposés dans des soucoupes en aluminium préalablement pesées. Les soucoupes ont été déposées dans une étuve à 70°C et 1 bar pendant 18 heures, refroidies, puis pesées. Le pourcentage d'humidité fut calculé comme suit:

$$(Poids purée humide) - (Poids purée sèche) = Poids H_2O$$

$$\frac{\text{Poids } H_2O}{\text{Poids purée humide}} \times 100 = \% \text{ d'humidité}$$

2.2.4.3 Détermination du pH

Dix-huit échantillons de chaque traitement ont été analysés (3 échantillons/répétition x 6 répétitions). Le pH a été mesuré directement dans la purée de chaque échantillon, à l'aide d'un pH-mètre.

2.2.4.4 Détermination de l'acidité titrable

Trente-six échantillons de chaque traitement ont été analysés (6 échantillons/répétition x 6 répétitions). Chaque échantillon a nécessité les manipulations suivantes (tirées de Morris *et al.*, 1979).

Dix grammes de purée de bleuets furent pesés et déposés dans un erlenmeyer de 250 ml; 100 ml d'eau distillée furent ajoutés avec une fiole jaugée et le tout fut agité pendant 15 minutes. Dix ml de la solution furent pipetés et déposés dans un bêcher de 50 ml auquel 20 ml d'eau distillée furent ensuite ajoutés. La titration s'est effectuée avec NaOH 0,01 N en agitant, et ce, jusqu'à pH = 7,00. Le volume de NaOH 0,01 N utilisé fut noté. Ce volume fut converti en équivalent acide citrique en le multipliant par le facteur obtenu suite au calcul suivant (méthode de calcul tirée de Ruck, 1963):

$$\% \text{ acidité totale} = \frac{\text{facteur de dilution} \times \underline{\text{pds de l'équiv. acide}} \times \underline{\text{normalité du NaOH}} \times \underline{\text{vol. de titration (ml)}}}{\text{poids de l'échantillon (g)}}$$

$$= \frac{10,00 \text{ ml}}{30,00 \text{ ml}} \times \frac{64,00 \text{ g}}{10,00 \text{ g}} \times 0,01 \text{ N} \times \text{Vol. de titration (ml)}$$

$$= 0,02 \times \text{Vol. de titration (ml)}$$

2.2.4.5 Détermination du contenu en solides solubles (SS) ou degré Brix ($^{\circ}\text{B}$)

Les SS furent déterminés à l'aide d'un réfractomètre manuel muni d'une échelle indiquant le pourcentage de SS. Ce type de réfractomètre effectue au besoin les corrections en fonction de la température.

Il est convenu d'appeler «sucres», le pourcentage de solides solubles contenus dans le jus et mesurés par réfractométrie (Alavoine *et al.*, 1986).

Dix-huit échantillons de chaque traitement ont été analysés (3 échantillons/répétition x 6 répétitions). Chaque échantillon a nécessité les manipulations suivantes:

Cinq grammes de purée furent déposés dans un tube à centrifuger de 15 ml et centrifugés pendant 10 minutes à 2000 trs/min afin d'éliminer les graines et les fibres. Le surnageant fut prélevé avec une pipette Pasteur et une goutte fut déposée directement sur la cellule du réfractomètre, dont l'échelle graduée de 0 à 32°Brix correspond au pourcentage de SS. Le Brix fut noté ainsi que la température (constante à 26°C).

2.2.4.6 Détermination du contenu en solides insolubles dans l'alcool (SIA)

Trente-six échantillons de chaque traitement ont été analysés (6 échantillons/répétition x 6 répétitions). Chaque échantillon a nécessité les manipulations suivantes:

Dix grammes de purée et 100 ml d'éthanol dénaturé furent mélangés dans un bécher de 250 ml et la solution fut portée à ébullition pendant 15 minutes afin d'en extraire le matériel soluble. Une fois refroidie, la solution fut filtrée sur un verre fritté à texture grossière de 60 ml contenant un filtre Whatman #40 (42,5 mm) préalablement pesé, pour recueillir la fraction insoluble. Les solides insolubles furent séchés dans un four à vide à 60 °C pendant une nuit, refroidis, puis pesés.

Le pourcentage des SIA fut calculé comme suit:

$$\% \text{ SIA} = \frac{\text{Masse de résidu sec} \times 100}{\text{Masse de purée}}$$

2.2.4.7 Détermination des sucres et acides organiques par chromatographie liquide à haute pression (CLHP)

Cinquante-quatre échantillons de chaque traitement ont été analysés (9 échantillons/répétition x 6 répétitions).

L'appareillage consiste en un chromatographe liquide muni d'un injecteur automatique avec unité de refroidissement, d'une pompe, d'un détecteur ultra-violet à longueur d'onde variable, d'un détecteur indice de réfraction, ainsi que d'un chauffe colonne. Le système CLHP est contrôlé par ordinateur avec logiciel de traitement de données Maxima 820.

La préparation des échantillons a nécessité l'utilisation d'une plaque agitatrice et d'une centrifugeuse.

Le matériel utilisé comprenait une colonne CLHP ION-300 (300 mm x 7,8 mm) avec une pré-colonne Micro-Guard™ Cation-H , des SEP PACK C-18, des filtres jetables pour seringue 0,45 µm, des tubes à centrifugeuse avec capuchons à vis de 50 ml, des seringues jetables de 5 et 10 ml, ainsi que des fioles d'injection.

Les produits utilisés furent de l'eau distillée (à température pièce et bouillante), de l'éthylène glycol, du méthanol, de l'acide sulfurique concentré, des sucres standards (sucrose, glucose et fructose) et des acides standards (phosphoénolpyruvique, oxalique, cis-

aconitique, cétoglutarique, citrique, pyruvique, malique, succinique, formique acétique, fumarique, propionique).

La méthode telle que décrite en détails par Doyon *et al.* (1991) consistait à déposer 10,0 g de purée dans un tube à centrifuger de 50 ml, d'y ajouter 30 ml d'eau distillée bouillante ainsi que 10 ml du standard interne (éthylène glycol 50 g/L de H₂O). Les tubes à centrifuger furent agités pendant 15 minutes sur une plaque agitatrice et ensuite centrifugés pendant 15 minutes à 2000 trs/min. Le surnageant fut prélevé à l'aide d'une seringue et filtré à travers un SEP PACK préalablement traité avec cinq ml de méthanol, puis six ml d'eau. Les deux premiers ml furent jetés, et le reste transvidé dans une seringue munie d'un filtre de 0,45 µm. Le liquide fut filtré à nouveau lors de son transfert dans une fiole d'injection.

Trois fioles par échantillons furent remplies (environ aux trois quarts) et disposées sur le cabaret de l'appareil ou congelées pour utilisation ultérieure.

2.2.5 Traitement des données

Les niveaux d'échelle moyens obtenus pour la fermeté, la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère ont été comparés entre les traitements Cr et Cs par l'analyse de variance à deux critères de classification développée par Fisher. L'analyse de variance a été effectuée en suivant la procédure GLM de SAS (SAS Institute, 1988).

La teneur en eau, le pH, l'acidité titrable, les contenus en SS (%) et en SIA (%), les teneurs en sucres et en acides organiques, la proportion de fruits bleus de même que les rapports solides solubles/acidité titrable, solides solubles/acides totaux, sucres/acidité titrable et sucres/acides totaux ont tous été comparés entre les trois traitements par l'analyse de

variance à un critère de classification de Fisher. Les données permettant de calculer ces paramètres (à l'exception des données de pH) ont d'abord été soumis à une transformation en arcsinus de la racine carrée pour respecter la normalité des résidus et l'homogénéité des variances (Sokal et Rohlf, 1981). L'analyse de variance a été effectuée en suivant la procédure GLM de SAS (SAS Institute, 1988). Lorsque cette analyse donnait des différences significatives entre les traitements, des contrastes ont permis de vérifier d'où provenaient ces différences.

2.3 RÉSULTATS

2.3.1 Analyses sensorielles

Le tableau 2.1 présente les niveaux d'échelle moyens obtenus des analyses sensorielles de la fermeté, de la saveur sucrée, de la saveur acide, de la saveur de bleuet et de la saveur étrangère des fruits frais soumis aux traitements Cr et Cs.

Les niveaux ne varient pas beaucoup entre les deux traitements. Pour l'ensemble des critères évalués, les bleuets étaient légèrement fermes, légèrement sucrés et légèrement acides, peu importe le traitement reçu. La saveur étrangère est pratiquement absente.

Les dégustateurs ont évalué que seule la fermeté varie significativement entre les traitements Cr et Cs ($p \leq 5\%$) (tableau 2.1).

Tableau 2.1: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la fermeté, la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère des fruits frais.

Traitements ¹	Fermeté	Saveur sucrée	Saveur acide	Saveur de bleuet	Saveur étrangère
Cr (13 kPa)	3,4±0,8	3,2±1,0	3,4±1,2	3,6±1,2	2,0±1,1
Cs (70 kPa)	3,6±0,9	3,3±1,1	3,2±1,1	3,8±1,1	1,9±1,1
P (ANOVA)	0,03				

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

- Niveaux d'échelle:
- 1 = absence
 - 2 = très léger
 - 3 = léger
 - 4 = modéré
 - 5 = élevé
 - 6 = très élevé

Les bleuets provenant des parcelles sous condition sèche étaient plus fermes que ceux provenant des parcelles sous condition de teneur en eau recommandée. Aucune différence significative n'a été observée entre les deux traitements pour tous les autres critères évalués, soient la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère des fruits frais ($p \leq 5\%$).

2.3.2 Analyses chimiques

2.3.2.1 Teneur en eau, pH, acidité titrable, solides solubles et solides insolubles dans l'alcool

Le tableau 2.2 exprime les résultats obtenus concernant la teneur en eau, le pH, l'acidité titrable, les solides solubles et les solides insolubles dans l'alcool.

Les différents traitements appliqués pendant la période du 20 juin au 16 août n'ont pas affecté significativement la teneur en eau des fruits ($p \leq 5\%$), laquelle oscille autour de 88%.

Le pH des fruits a montré une augmentation significative avec une diminution de la teneur en eau du sol ($p \leq 5\%$). Les fruits cueillis dans les parcelles sous condition naturelle (Cn) ont un pH significativement plus acide comparativement à ceux cueillis dans les parcelles sous condition de teneur en eau recommandée ($p \leq 5\%$) de même qu'à ceux cueillis dans les parcelles sous condition sèche ($p \leq 5\%$).

L'acidité titrable des fruits varie très peu d'un traitement à l'autre et ces variations ne sont pas significatives ($p \leq 5\%$).

Tableau 2.2: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la teneur en eau, le pH, l'acidité titrable, les SS et les SIA des fruits.

Traitements ¹	Teneur en eau (%)	pH	Acidité titrable (% ac. citr.)	Solides solubles (SS) (°Brix)	Solides insolubles ds l'alcool (SIA) (%)
Cn (8 kPa)	89,4±1,1	3,03±0,00	0,11±0,01	7,5±0,8	4,0±0,5
Cr (13 kPa)	87,5±1,5	3,24±0,17	0,09±0,04	8,6±0,7	4,0±0,8
Cs (70 kPa)	87,2±1,4	3,26±0,18	0,08±0,02	9,1±1,3	3,4±0,1
P (ANOVA)	0,077	0,0379	0,1751	0,0521	0,0692
CONTRASTES:					
Cn vs Cr		0,0311		0,0915	
Cn vs Cs		0,0207		0,0193	
Cr vs Cs		0,8162		0,3800	

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

Le contenu en solides solubles des fruits a montré une variation significative à 5,21% entre les trois traitements. Les contrastes ont permis de constater que la variation des solides solubles est significativement différente entre les deux traitements extrêmes à 1,93%, soit celui où les plants ont été maintenus naturellement à une teneur en eau du sol élevée (Cn) et celui où les plants ont été soumis aux conditions les plus sèches (Cs).

Les différentes conditions de teneur en eau du sol n'ont pas eu d'effet significatif au seuil de 5% sur le contenu en solides insolubles dans l'alcool.

2.3.2.2 Teneur en glucose, sucre et sucres totaux

Le tableau 2.3 présente l'effet des différentes conditions de teneur en eau du sol sur les teneurs en sucres des fruits. Les sucres dosés par CLHP comprennent le glucose, le fructose et le sucre. Les teneurs en sucre font partie des sucres totaux mais n'ont pas été présentées séparément, le sucre n'existant qu'à l'état de traces chez les fruits de *V. angustifolium* (concentration inférieure à 1 μ g/100 g).

Les différentes conditions de teneur en eau du sol ont affecté significativement les teneurs en glucose, fructose et sucres totaux ($p \leq 5\%$). Les parcelles ayant bénéficié d'une teneur en eau plus élevée ont produit les fruits les moins sucrés (tableau 2.3).

Tableau 2.3: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur les teneurs en glucose, fructose et sucres totaux des fruits déterminées par CLHP.

Traitements ¹	Glucose (g/100g)	Fructose (g/100g)	Sucres totaux (glu+fru+suc) (g/100g)
Cn (8 kPa)	3,01±0,34	3,69±0,29	6,67±0,64
Cr (13 kPa)	3,85±0,49	4,81±0,79	8,66±1,27
Cs (70 kPa)	3,85±0,71	4,33±0,65	8,18±1,34
P (ANOVA)	0,0359	0,0322	0,0326
CONTRASTES:			
Cn vs Cr	0,0232	0,0107	0,0134
Cn vs Cs	0,0244	0,0957	0,0445
Cr vs Cs	0,9763	0,2266	0,4987

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

La teneur en glucose des fruits augmente lorsque la teneur en eau du sol diminue. Ainsi, les fruits cueillis dans les parcelles Cr et Cs contiennent significativement plus de glucose par rapport à ceux provenant des parcelles Cn ($p \leq 5\%$). La teneur en fructose augmente aussi de façon significative entre les fruits provenant des parcelles Cn et ceux provenant des parcelles Cr ($p \leq 1\%$).

De ce fait, la teneur en sucres totaux est plus élevée chez les fruits cueillis dans les parcelles du traitement Cr comparativement à ceux des autres traitements. La teneur en sucres totaux varie également de façon significative entre les fruits provenant des parcelles sous condition naturelle et ceux provenant des parcelles sous condition sèche ($p \leq 5\%$), ces derniers étant plus sucrés.

2.3.2.3 Teneur en acides organiques

Les acides organiques présents dans les fruits de *V. angustifolium* et la variation de leurs concentrations en fonction des différentes conditions de teneur en eau du sol ont aussi été déterminés par CLHP (tableau 2.4). Les acides quinique, citrique, succinique, malique et α -céto glutarique se retrouvent en quantités appréciables dans les bleuets. Les teneurs en acides propionique, formique et fumarique ont également été mesurées. Comme ces acides n'existent qu'à l'état de traces (concentrations inférieures à 10 mg/100g, 1 mg/100g et 0,1 mg/100g respectivement), les résultats ne sont pas présentés.

Tableau 2.4: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur les teneurs en acides organiques des fruits déterminées par CLHP.

Traitements¹	Teneurs en acides organiques					
	Quinique (g/100g)	Citrique (g/100g)	Succinique (g/100g)	Malique (g/100g)	α-Cétoglutarique (g/100g)	Acides totaux (g/100g)
Cn (8 kPa)	0,48±0,04	0,18±0,03	0,11±0,03	0,07±0,02	0,03±0,00	0,85±0,05
Cr (13 kPa)	0,36±0,11	0,15±0,05	0,13±0,10	0,07±0,02	0,02±0,00	0,72±0,18
Cs (70 kPa)	0,40±0,08	0,14±0,03	0,14±0,03	0,09±0,02	0,05±0,00	0,79±0,06
P (ANOVA)	0,3308	0,0373	0,5695	0,8719	0,7836	0,1438

CONTRASTES:

Cn vs Cr	0,0258
Cn vs Cs	0,0236
Cr vs Cs	0,9585

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

L'acide quinique est l'acide organique le plus abondant dans les fruits du bleuet nain, indépendamment des traitements. Cependant, seul l'acide citrique varie de façon significative entre les trois traitements ($p \leq 5\%$). Cette variation s'explique par des différences significatives entre la teneur en acide citrique des fruits cueillis dans les parcelles du traitement Cn et ceux provenant des parcelles du traitement Cr ($p \leq 5\%$) ainsi que ceux du traitement Cs ($p \leq 5\%$). Tous les autres acides organiques dosés ne varient pas significativement entre les traitements ($p \leq 5\%$). Il en est de même pour les acides organiques totaux.

2.3.2.4 Proportion de fruits bleus et indices de maturité

La couleur bleue étant un indice de la maturité des bleuets (Forsyth et Hall, 1969, cités dans Hall *et al.*, 1970), la proportion de bleuets bleus par rapport aux autres bleuets (blancs, verts ou rouges) a donc été calculée dans les sous-parcelles (tableau 2.5).

Certains rapports permettent également d'évaluer le degré de maturité des bleuets. Ils sont calculés à partir des teneurs en sucres et en acides des fruits. Les rapports couramment utilisés sont ceux des solides solubles/acidité titrable et des sucres/acidité titrable (tableau 2.5). L'acidité titrable n'est cependant qu'une estimation du contenu en acidité des fruits, seuls les acides dissociés étant neutralisés lors de la titration. Les teneurs réelles en acides organiques ayant été déterminées précisément par CLHP (tableau 2.4), ceci permet le calcul de nouveaux rapports utilisant des données d'acidité plus précises. Les rapports des solides solubles/acides totaux et des sucres /acides totaux sont aussi présentés au tableau 2.5.

Tableau 2.5: Effet de différentes conditions de teneur en eau du sol appliquées à des plants de bleuets (*Vaccinium angustifolium*) pendant la période du 20 juin au 16 août 1993, sur la proportion de fruits bleus et les indices de maturité des fruits.

Traitements ¹	Proportion de fruits bleus (%)	SS/acidité tit.	SS/acides totaux	Sucres/acidité tit.	Sucres/acides totaux
Cn (8 kPa)	73,90±6,37	73,11±14,17	8,97±1,32	63,34±9,16	7,92±0,95
Cr (13 kPa)	72,09±15,10	110,35±49,56	12,54±2,84	115,62±60,46	12,52±2,71
Cs (70 kPa)	85,82±11,73	120,86±33,77	11,69±2,25	109,04±27,27	10,54±2,33
P (ANOVA)	0,2488	0,08	0,02	0,08	0,01
CONTRASTES:					
Cn vs Cr			0,01		0,003
Cn vs Cs			0,03		0,05
Cr vs Cs			0,44		0,12

1. Les valeurs entre parenthèses indiquent la tension de l'eau dans le sol la veille de la cueillette.

La proportion de fruits bleus ne varie pas significativement entre les différentes conditions de teneur en eau du sol ($p \leq 5\%$). Il en est de même pour les deux rapports calculés avec l'acidité titrable.

Le rapport des solides solubles/acides totaux est significativement plus faible chez les fruits provenant du traitement Cn par rapport à ceux du traitement Cr ($p \leq 1\%$) et du traitement Cs ($p \leq 5\%$). Les mêmes relations existent concernant le rapport des sucres/acides totaux. Ces résultats significatifs traduisent le fait que les plants soumis à de très faibles tensions (Cn) ont mûri beaucoup moins rapidement que ceux des traitements Cr ou Cs. Et selon ces deux mêmes rapports, la maturité était plus avancée chez les fruits du traitement Cr, comparativement à ceux du traitement Cn. Pourtant, la proportion de fruits bleus ne varie pas significativement entre les trois traitements ($p \leq 5\%$).

2.4 DISCUSSION

La teneur en eau du sol n'a modifié qu'un seul des paramètres reliés à l'apparence des bleuets, soit la fermeté. La couleur bleue et la taille des fruits n'ont pas montré de variation significative entre les trois traitements ($p \leq 5\%$). Les fruits provenant des parcelles soumises à une teneur en eau du sol recommandée se sont avérés significativement moins fermes que ceux provenant des parcelles sous condition sèche. Et une diminution de la fermeté est signe d'une maturité plus avancée. Selon cet unique résultat, une teneur en eau du sol recommandée par rapport à des conditions plus sèches aurait contribué à accélérer la maturation des bleuets. Cependant, l'analyse de tous les autres paramètres choisis pour évaluer la maturité des fruits ne permet pas de confirmer ce fait de façon significative. La fermeté n'est donc pas le meilleur indice de la maturité des bleuets dans cette expérience.

La qualité gustative des bleuets frais n'a pas varié significativement entre les traitements Cr et Cs ($p \leq 5\%$). Cela démontre que les différentes saveurs ne sont pas nécessairement diluées lorsque les fruits reçoivent une plus grande quantité d'eau. La saveur sucrée n'a pas varié significativement entre les traitements Cr et Cs selon les analyses sensorielles, et il en est de même selon les analyses chimiques ($p \leq 5\%$). Il aurait été intéressant d'analyser les différentes saveurs des bleuets provenant des deux traitements extrêmes, soit le Cn et le traitement Cs, et particulièrement la saveur sucrée, car les teneurs en glucose et en sucres totaux ont varié significativement entre ces deux traitements ($p \leq 5\%$).

La teneur en eau du sol a affecté de nombreux paramètres utilisés pour évaluer la composition chimique des fruits dont le contenu en sucres et l'acidité, tout comme chez *V. corymbosum* et *V. ashei*. Avec une augmentation de la teneur en eau du sol, le pH des bleuets est plus acide, les fruits ont une plus faible teneur en solides solubles, des teneurs en

glucose, fructose et sucres totaux plus faibles également, une teneur en acide citrique plus élevée et enfin des rapports solides solubles/acides totaux et sucres/acides totaux plus faibles. Tous ces paramètres sont reliés à la maturité des bleuets et les résultats obtenus indiquent que celle-ci était significativement moins avancée chez les fruits provenant des parcelles Cn comparativement à ceux du traitement Cs ($p \leq 5\%$), à l'exception de la teneur en fructose. Selon les critères de qualité proposés dans la littérature, plus le rapport solides solubles/acidité est faible, meilleure sera la conservation du fruit. Les bleuets destinés au marché frais et à la transformation doivent avoir un taux élevé d'acidité ou de faibles rapports solides solubles/acidité et sucres/acidité. Les fruits provenant des parcelles qui ont profité d'une teneur en eau du sol plus élevée que celle recommandée (Cn) auraient potentiellement la meilleure qualité au point de vue conservation, aptitude à la transformation et à la consommation, les rapports des solides solubles/acides totaux et sucres/acides totaux étant significativement plus faibles chez les fruits cueillis dans ces parcelles ($p \leq 5\%$).

Aucune différence significative n'a été observée entre les traitements Cr et Cs pour l'ensemble des paramètres de composition chimique ($p \leq 5\%$). Une teneur en eau du sol recommandée par rapport à des conditions plus sèches ne modifie donc pas la composition chimique des bleuets. Cependant, une teneur en eau du sol recommandée comparativement à une teneur en eau du sol plus élevée a produit des fruits significativement moins acides (pH plus élevé, teneur en acide citrique moindre), plus sucrés et par le fait même plus matures (rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux plus élevés).

La détermination des acides organiques par CLHP a permis d'identifier avec précision les acides organiques présents chez *V. angustifolium*. Les résultats permettent de constater que l'acide citrique n'est pas l'acide le plus abondant chez le bleuet nain, contrairement à ce

qui est le plus souvent rapporté dans la littérature. L'acide quinique est de loin le plus concentré, tel que constaté également par Gagnon et Simard (1984). Cette constatation remet en question le calcul de l'acidité titrable exprimé en pourcentage d'acide citrique et les rapports qui en découlent, utilisés pour évaluer le degré de maturité des bleuets. D'ailleurs, les valeurs d'acidité titrable exprimées en pourcentage d'acide citrique sous-estiment les valeurs réelles de la teneur en acide citrique (tableaux 2.2 et 2.4). Et l'acidité titrable n'a pas montré de différence significative ($p \leq 5\%$) même si la plupart des paramètres reliés à l'acidité des fruits ont varié significativement ($p \leq 5\%$) suite à l'application des différents traitements (pH, acide citrique, rapports solides solubles/acides totaux et sucres/acides totaux).

Il serait plus adéquat d'évaluer la maturité des fruits à partir des teneurs en acides totaux, déterminés par CLHP. Les rapports solides solubles/acides totaux et sucres/acides totaux sont plus précis puisqu'ils impliquent la teneur réelle en acides et non une estimation de celle-ci. Si toutefois l'appareillage n'est pas disponible pour déterminer avec précision la teneur réelle en acides organiques, il est recommandé d'évaluer l'acidité par titration mais d'exprimer le résultat en pourcentage d'acide quinique plutôt qu'en pourcentage d'acide citrique. Cette évaluation se rapprocherait davantage de la réalité.

L'interprétation de ces rapports indique que les bleuets provenant du traitement Cr étaient plus mûrs que ceux provenant des parcelles Cn. Pourtant, selon la teneur en acide citrique, les bleuets provenant des parcelles Cs seraient les plus mûrs alors que les teneurs en sucres totaux n'indiquent pas que les fruits provenant de ces parcelles sont les plus mûrs. La teneur en acide citrique n'est pas une représentation comparable à la teneur en acides organiques totaux et ne peut donc pas être utilisée à ce titre pour évaluer la maturité des bleuets.

La couleur bleue des fruits a été utilisée pour évaluer la maturité des bleuets également. Bien que la proportion de fruits bleus n'ait pas montré de variation significative entre les trois traitements ($p \leq 5\%$), les bleuets provenant des parcelles Cr ont la proportion la plus faible. Aucune autre mesure reliée à la maturité des bleuets parmi toutes celles évaluées lors de ces analyses confirme que les bleuets des parcelles Cr étaient moins matures. Il est possible que la couleur apparaisse dès le début du processus de mûrissement, sans que les transformations chimiques à l'intérieur du fruit qui accompagnent ce processus ne soient complétées. Gagnon et Simard (1984) distinguent d'ailleurs la teinte bleue du fruit de l'intensité de sa coloration. Dès que le processus de mûrissement est enclenché, la teinte du fruit devient bleue, mais l'intensité de cette coloration augmente à mesure que le bleuet mûrit. La coloration bleue n'est donc pas le meilleur indice de la maturité du bleuet nain.

2.5 CONCLUSION

L'objectif général du chapitre II consistait à vérifier l'effet de la teneur en eau du sol sur la qualité des fruits du bleuetier nain. Il a été vérifié plus spécifiquement si le maintien d'une teneur recommandée en eau du sol modifiait l'apparence, la qualité gustative et la composition chimique des fruits.

Les résultats obtenus permettent de conclure qu'une teneur en eau du sol recommandée n'a modifié significativement que la fermeté des bleuets ($p \leq 5\%$) mais que les autres paramètres utilisés pour évaluer l'apparence des fruits de *V. angustifolium*., soit la couleur et la taille, n'ont pas été modifiés. La couleur bleue et la fermeté des fruits ont été utilisées pour évaluer leur maturité et se sont avérées des indices de maturité plus ou moins valables.

Le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol n'a pas modifié la qualité gustative du bleuet nain selon les analyses sensorielles, puisque les fruits provenant des traitements Cr et Cs n'ont pas montré de différence significative concernant la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère ($p \leq 5\%$).

Enfin, le maintien de la teneur en eau du sol à une valeur recommandée comparativement à une teneur en eau plus faible (traitement Cs) n'a pas modifié la composition chimique des fruits de *V. angustifolium*. Cependant, les fruits provenant des plants maintenus à une valeur recommandée de teneur en eau du sol par rapport à ceux provenant des plants qui ont bénéficié d'une teneur en eau du sol plus élevée (Cn) ont une maturité plus avancée. Cela se traduit par les résultats significatifs suivants ($p \leq 5\%$): un pH moins acide, des teneurs en sucres plus élevées, une teneur en acide citrique plus faible et des rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux supérieurs.

De la même façon, les fruits provenant des plants maintenus sous condition sèche ont une maturité significativement plus avancée que ceux qui ont profité d'une teneur en eau du sol plus élevée (Cn). En effet, les fruits provenant des parcelles Cs ont un pH moins acide, des teneurs en solides solubles, glucose et sucres totaux plus élevées, une teneur en acide citrique de mêmes que des rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux plus faibles ($p \leq 5\%$).

La teneur en eau du sol peut donc modifier certains paramètres qui permettent d'évaluer la composition chimique des fruits selon les conditions météorologiques qui prévalent.

Les acides organiques présents chez le bleuet nain ont été identifiés précisément par CLHP. Les plus abondants sont les acides quinique, citrique, succinique, malique et α -cétoglutarique. L'acide quinique est de loin le plus concentré et non l'acide citrique, contrairement à ce qui est le plus souvent rapporté dans la littérature. Les rapports solides solubles/acides totaux et sucres/acides totaux ont donné une indication plus juste de la maturité des fruits que ceux calculés à partir de l'acidité titrable.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES

L'objectif général de cette recherche consistait à vérifier l'effet de la teneur en eau du sol sur le rendement des plants de bleuet nain et la qualité des fruits produits. L'application des différentes conditions de teneur en eau du sol au cours de la saison estivale 1993 n'a pas permis d'augmenter ni le nombre, ni la taille, ni la masse des fruits récoltés. L'hypothèse voulant que le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol puisse augmenter le rendement du bleuetier nain est donc rejetée sous les conditions de la saison expérimentale de 1993.

L'apparence des bleuets, plus spécifiquement la couleur et la taille des fruits, n'a pas été modifiée suite à l'application des différentes conditions de teneur en eau du sol. La fermeté, qui fait partie des critères reliés à l'apparence des bleuets, a montré une différence significative entre les traitements Cr et Cs ($p \leq 5\%$). Les fruits provenant des parcelles Cr se sont avérés les moins fermes, indiquant une maturité plus avancée. Cependant, tous les autres critères permettant d'évaluer la maturité n'ont pas varié significativement entre ces deux traitements ($p \leq 5\%$). La fermeté n'est donc pas le meilleur indice de la maturité des bleuets dans cette expérience.

Les différentes conditions de teneur en eau du sol n'ont pas eu d'effet sur la qualité gustative du bleuet nain. Les dégustateurs n'ont pas perçu de différence significative concernant la saveur sucrée, la saveur acide, la saveur de bleuet et la saveur étrangère entre

les fruits provenant des parcelles maintenues à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol comparativement à ceux provenant des parcelles sous condition sèche ($p \leq 5\%$).

Les différentes conditions de teneur en eau du sol ont affecté significativement les paramètres utilisés pour évaluer la maturité des fruits ($p \leq 5\%$), soient les contenus en sucres et en acides. Selon les contrastes, le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol n'a pas modifié la composition chimique des bleuets par rapport à des conditions plus sèches. Cependant, cette même teneur en eau a permis d'obtenir des fruits significativement moins acides (pH plus élevé, teneur en acide citrique moindre), plus sucrés et par le fait même plus matures (rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux plus élevés) que ceux qui ont bénéficié d'une teneur en eau du sol plus élevée (Cn).

De la même façon, les fruits provenant des plants maintenus sous condition sèche (Cs) ont une maturité significativement plus avancée que ceux qui ont profité d'une teneur en eau du sol plus élevée (Cn). En effet, les fruits provenant des parcelles Cs ont un pH moins acide, des teneurs en solides solubles, glucose et sucres totaux plus élevées, une teneur en acide citrique de mêmes que des rapports SS/acides totaux et sucres/acides totaux plus faibles ($p \leq 5\%$).

La teneur en eau du sol peut donc modifier certains paramètres qui permettent d'évaluer la composition chimique des fruits selon les conditions météorologiques qui prévalent. L'hypothèse voulant que le maintien à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol puisse modifier la qualité du bleuet nain ne s'avère fondée qu'en partie.

Les bleuets provenant des parcelles qui ont profité d'une teneur en eau du sol plus élevée (Cn) se sont avérés les moins matures (les plus acides et les moins sucrés) et de ce fait, ils ont potentiellement une meilleure qualité de conservation ainsi qu'une meilleure aptitude à la transformation. Leur taux élevé d'acidité assure une bonne qualité pour la consommation sur le marché frais. Selon ces critères, les conditions météorologiques de la saison estivale 1993 ont permis d'obtenir des bleuets de meilleure qualité que ceux provenant des plants maintenus à une valeur recommandée de la teneur en eau du sol.

Même si du point de vue du transformateur, des conditions de teneur en eau du sol élevée ont permis d'obtenir des bleuets de meilleure qualité, le producteur de bleuets n'aurait pas nécessairement avantage à irriguer pour maintenir cette teneur en eau selon les conditions du traitement Cn, ni même selon celles du traitement Cr. Le maintien à la valeur recommandée de la teneur en eau du sol n'a pas procuré d'augmentation de rendement, ni modifié la qualité des fruits produits en regard de leur apparence et de leur goût. Le maintien de cette teneur en eau a cependant exigé des coûts supplémentaires reliés à l'utilisation d'un système d'irrigation. De plus, l'irrigation contre le gel nécessite de traiter l'ensemble de la bleuetière simultanément, ce qui implique l'achat d'un système de grande dimension et des coûts d'opération encore plus importants que ceux imputables à un traitement uniquement contre la sécheresse. La décision d'irriguer ou non dans les bleuetières revient au producteur lui-même et, outre ces constatations, il doit aussi tenir compte des risques de gel et des risques d'avoir une sécheresse plus sévère que celle induite par le traitement Cs.

BIBLIOGRAPHIE

Abdalla, D.A., 1965. Dry weather. Mechanical harvester trial. Coop. Ext. Work. Ext. Serv., Orono, Maine.

Alavoine, F., M. Crochon, C. Fady, J. Fallot, P. Moras et J.-C. Pech, 1986. La qualité gustative des fruits, méthodes pratiques d'analyse. Publication du CEMAGREF, Aix-en-Provence.

Andersen, P.C., D.W. Buchanan, and L.G. Albrigo, 1979. Water relations and yields of three rabbiteye blueberry cultivars with and without drip irrigation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 104 (6): 731-736.

Association of official analytical chemists, 1990. Official methods of analysis. Ed. par Kenneth Helrich, Arlington, Virginie, 15^{ème} édition, Vol II.

Ballinger, W.E. and L.J. Kushmann, 1970. Relationship of stage of ripeness to composition and keeping quality highbush blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 95 (2): 239-242.

Ballinger, W.E., L.J. Kushmann and D.D. Hamann, 1973. Factors affecting the firmness of highbush blueberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 98 (6): 583-587.

Ballington, J.R., W.E. Ballinger, W.H. Swallow, G.J. Galletta and L.J. Kushman, 1984. Fruit quality characterization of 11 *Vaccinium* species. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109 (5): 684-689.

Barker, W.G., F.A. Wood and W.B. Collins, 1963. Sugar-levels in fruits of the lowbush blueberry estimated at four physiological ages. Nature (London) 198: 810-811.

Benoît G.R., W.J. Grant, A.A. Ismail and D.E. Yarborough, 1984. Effect of soil moisture and fertilizer on the potential and actual yield of lowbush blueberries. Can. J. Plant Sci. 64: 683-689.

Blatt, C.R. et I.V. Hall, 1989. La production du bleuet nain. Agriculture Canada Publication 1477/F, Ottawa. 61 p.

Bouchard, A., A. Francoeur et R. Gagnon, 1982. Un réseau de stations climatiques dans les bleuetières. *Vaccinia* No 2. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 6 p.

Bouchard, A.R. et R. Guignard, 1986. Les hasards climatiques et la production des bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Vaccinia* No. 13, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 25 p.

- Bowers, R.C. and D.H. Dewey, 1961. Further studies of the relation of sugar-acid ratios to the ripening and deterioration of Jersey and Rubel blueberry fruit. Quartely Bulletin, Michigan State University Agricultural, Vol. 43 (2): 303-311.
- Byers, P.L. and J.N. Moore, 1987. Irrigation scheduling for young highbush blueberry plants in Arkansas. HortScience, Vol. 22 (1): 52-54.
- Collomb, C., 1961. Remarques sur le procédé de défense contre les gelées du printemps. Phytoma, No 126, p.29.
- Crane, J.B., 1966. Irrigating lowbush blueberries. In: W.J. Kender and D.A. Abdalla, eds. Proceedings of the North American Blueberry Workers Conference. Maine Agric. Exp. Sta. Miscellaneous Report 118.
- Doyon, G., G. Gaudreau, D. St-Gelais, Y. Beaulieu and C.J. Randall, 1991. Simultaneous HPLC determination of organic acids, sugars and alcohols. Can. Inst. Sci. Technol. J.. Vol. 24, No. 1/2: 87-94.
- Dubé, P.-A., 1968. Influence de la structure des bleuetières sur le rendement. Thèse de maîtrise présentée à l'École des gradués de l'Université Laval, 242 p.
- Environnement Canada, 1991. Sommaires météorologiques mensuels (juin, juillet et août 1991). Stations météorologiques de Jonquière, Normandin et Roberval.
- Environnement Canada, 1993. Sommaires météorologiques mensuels (juin, juillet et août 1993). Stations météorologiques de Jonquière, Normandin et Roberval.
- Francoeur, A., 1982. Un programme de recherche sur les bleuetières de la Sagamie. Vaccinia No 3. Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 10 p.
- Gagnon, M.J. et J.-L. Simard, 1984. Rapport d'étape du 11^{ème} mois. Groupe de recherche sur la mise au point de formules de fabrication de vins de table à partir de bleuets comme matières premières.
- Gagnon, M.J., G.J. Collin et J. Côté, 1989. Étude sur la composition des arômes de bleuet, *Vaccinium angustifolium* Ait., durant la maturation et l'entreposage. Actes du colloque sur les produits naturels d'origine végétale. G.J. Collin et F.-X. Graneau, éditeurs. Chicoutimi, Québec.
- Galletta, G.J., W.E. Ballinger, R.J. Monroe and L.J. Kushman, 1971. Relationships between fruit acidity and soluble solids levels of highbush blueberry clones and fruit keeping quality. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 96 (6): 758-762.
- Gallichand, J. et Y. Brochu, 1983. Irrigation: Dosage et moment d'application. Publication du MAPAQ, Direction de l'hydraulique agricole, du machinisme et des constructions rurales. 76 p.
- Hall, I.V. and J.S. Leefe, 1966. The effect of frost injury before harvest, on yield of marketable lowbush blueberries. Can. Journ. Plant Sci., 46: 205.

- Hall, I.V. and F.R. Forsyth, 1967. Respiration rates of developing fruit of the lowbush blueberry. *Can. Journ. Plant Sci.*, 47: 157-159.
- Hall, I.V. and L.E. Aalders, 1967. Lowbush blueberry production and management. *Lowbush blueberry production in Canada*. Can. Dept. Agr., Publication No 1278: 4-21.
- Hall, I.V., F.R. Forsyth, L.E. Aalders and L. P. Jackson, 1970. Physiology of the lowbush blueberry. *Economic botany*, Vol. 26: 68-73.
- Hall, I.V., L.E. Aalders, N.L. Nickerson and S.P. Vander Kloet, 1979. The biological Flora of Canada. *The Canadian Field-Naturalist*, Vol. 93: 415-430.
- Haman, D.Z., A.G. Smajstrla, P.M. Lyrene, 1988. Blueberry response to irrigation and ground cover. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 101: 235-238.
- Hussin, M.M. and F.M. Basiouny, 1984. The use of metabolic inhibitors, film-forming antitranspirants, and maxijet irrigation to increase yield, improve quality and water use efficiency of blueberries. *Proc. Fla. Stat Hort. Soc.* 97: 348-350.
- Lareau, M.J., 1990. La culture du bleuet au Québec. Publication d'Agriculture Canada, bulletin technique no.14. 27 p.
- Lavoie, V., 1963. Rapport d'activité 1962-1963. Feuilles miméographiées. 8 p.
- Lemieux, G.H., R. Verreault, S. Perron et G. Vachon, 1991. L'applicabilité de l'irrigation par aspersion dans les bleuetières du Saguenay-Lac-Saint-Jean. *Rapport de recherche, UQAC, Chicoutimi*. 61 p.
- Lenartowicz, W., J. Zbroszczyk and W. Procharski, 1990. The quality of highbush blueberry fruit. *Fruit science reports*, Vol. 17 No. 2: 77-85.
- Makus, D.J. and J.R. Morris, 1986. Sensory and fruit quality differences between Arkansas grown rabbiteye and highbush blueberries. *Proc. of the 107 th. annual meeting. Arkansas State Horticultural Society*. p. 109-113.
- Makus, D.J. and J.R. Morris, 1987. Highbush vs rabbiteye blueberry: a comparison of fruit quality. *Arkansas farm research, May-June*: 5.
- MAPAQ, 1993. Orientations d'actions régionales 1993-1996. Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean-Côte-Nord du sous-ministéariat production et affaires régionales.
- Markakis, P.A. Jarczyk and S.P. Krishna, 1963. Nonvolatile acids of blueberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, Vol. 11: 8-11.
- Morris, J.R., D.L. Cawthon and R.W. Buescher, 1979. Effects of acetaldehyde on post harvest quality of mechanically harvested strawberries for processing. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 104: 262.
- Parliment, T.H. and M.G. Kolor, 1975. Identification of the major volatile components of blueberry. *Journal of food science*, Vol. 40: 762-763.

- Peyremorte, P., 1989. De l'acquisition des connaissances au choix des moyens nécessaires pour en assurer la valorisation. Colloque sur l'expérimentation agricole et l'alimentation en eau des plants. AFMEX, Versailles, 25 et 26 janvier 1989: 183-192.
- Ruck, J.A., 1963. Chemical methods for analysis of fruit and vegetable products. Canadian Department of Agriculture, Publication 1154. 47 p.
- SAS Institute Inc., 1988. SAS/STAT user's guide, release 6.03. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Shewfelt, R.L., 1993. In Shewfelt, R.L. and S.E. Prussia, 1993. Postharvest handling. Academic Press, Inc., San Diego, California.
- Smajstrla, A.G., D.Z. Haman, P.M. Lyrene, 1988. Use of tensiometers for blueberry irrigation scheduling. Proc. Fla. State Hort. Soc. 101: 232-235.
- Sokal, R.R and F.J. Rohlf, 1981. Biometry. 2nd ed. W.H. Greeman and Co., New York.
- Stegman, E.C., J.T. Musick and J.I. Stewart, 1980. Irrigation water management, Chap.18. In: Design and operation of farm irrigation systems. M.E. Jensen, ed., monographie No 3 ASAE.
- Struchtemeyer, R.A., 1953. Operation rainfall plus. Univ. Maine Farm Res. 1 (1): 7-9.
- Struchtemeyer, R.A., 1956. For larger yields, irrigate lowbush blueberries. Univ. Maine Farm Res. 2 (2): 17-18.
- Sylvestre, G. et V. Lavoie, 1973. Irrigation dans les bleuetières. Rapport final, Université Laval, cahier No 11, 15 p.
- Trevett, M.F., 1964. The emergence pattern of lowbush blueberry stems the burn year. Maine Farm Res. No 12 (2): 3-8.
- Trevett, M.F., 1967. Irrigating lowbush blueberry the burn year. Maine farm research, Vol. 15, No. 2: 1-4.
- Verreault, R., L. Bergeron et S. McLaughlin, 1993. Expérimentation et rentabilité des systèmes d'irrigation mobile et semi-mobile dans les bleuetières de la Sagamie. Rapport de recherche, UQAC, Chicoutimi. 76 p.
- Wills, R.B.H., W.B. McGlasson, D. Graham, T.H. Lee and E.G. Hall, 1989. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Avi Book, Pub. Van Nostrand Reinhold, NY.
- Woodruff, R.E., D.H. Dewey and H.M. Sell, 1960. Chemical changes of Jersey and Rubel blueberry fruit associated with ripening and deterioration. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 75: 387-401.

Young, R.S., 1952. Growth and development of the blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum*, L. and *Vaccinium angustifolium*, Ait.). Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 59: 167-172.