



Évaluation technico-économique d'un système de refroidissement du couvert végétal dans la culture de la fraise à jours neutres en situation de production commerciale

Projet # 6302



Rapport final

Mai 2008 à juin 2010

Carl Boivin, agr., M.Sc. – IRDA
Paul Deschênes, agr., M.Sc. – IRDA
Lota Dabio Tamini, Ph. D. – IRDA

Avec la collaboration de
Daniel Bergeron, agr. – MAPAQ
Stéphane Nadon, t.a. – IRDA
Stéphanie Tellier, agr., M.Sc. – MAPAQ

Septembre 2010

Table des matières

1	DESCRIPTION DU PROJET.....	6
1.1	Introduction.....	6
1.2	Objectif général.....	6
1.3	Objectifs spécifiques.....	6
1.4	Étapes et échéances.....	7
2	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	9
2.1	Mise en place de l'expérience.....	9
2.2	Traitements	9
2.3	Dispositif expérimental.....	10
2.4	Collecte des données.....	10
3	RÉSULTATS ET ANALYSE	11
3.1	Résultats obtenus en fonction des objectifs spécifiques	11
3.1.1	Augmenter la productivité des plants en optimisant l'utilisation de l'eau et des nutriments par la plante.....	11
3.1.1.1	Rendement en fruits	11
3.1.1.2	Calibre des fruits	14
3.1.2	Étudier l'impact possible du refroidissement par évaporation sur l'incidence des maladies foliaires, racinaires et des fruits du fraisier.....	26
3.1.3	Évaluer la faisabilité technico-économique d'un système de refroidissement du couvert végétal par micro-aspersion adapté aux conditions de productions commerciales	27
3.1.3.1	Approche méthodologique	27
3.1.3.2	Principales composantes de la simulation.....	27
3.1.3.3	Résultats obtenus.....	35
3.1.4	Proposer une méthodologie d'utilisation de la technique de refroidissement par évaporation adaptée à la production commerciale de la fraise.	42
3.1.4.1	Consignes de déclenchement et design du système proposé.....	48
3.2	Retombées.....	50
3.2.1	Retombées sur le secteur.....	50
3.2.2	Pérennité du projet	50
3.3	Diffusion des résultats.....	51
4	HISTOIRE D'UNE RÉUSSITE	52
5	PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES	53
6	CONCLUSIONS ET SUITE DU PROJET	53
7	REMERCIEMENTS.....	55
8	RÉFÉRENCES	56

Liste des figures

Figure 1. Rendement relatif en fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2008 (n.s.).....	12
Figure 2. Rendement relatif en fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2008 (n.s.).....	12
Figure 3. Rendement relatif en fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2009 (n.s.).....	13
Figure 4. Rendement relatif en fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2009 (n.s.).....	13
Figure 5. Rendements en fruits dont le poids est inférieur à 6 g selon le traitement et la période de récolte en 2008 (kg/ha).....	15
Figure 6. Rendements en fruits dont le poids est inférieur à 6 g selon le traitement et la période de récolte en 2008 (unité/ha).....	15
Figure 7. Poids moyen des fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2008 (g).....	16
Figure 8. Poids moyen des fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2008 (g).....	17
Figure 9. Nombre moyen de jours entre l'ouverture de la fleur et le fruit mûr selon le traitement et la période où ce dernier a été récolté (2008).....	20
Figure 10. Nombre moyen de feuilles par plant selon la période où elles sont apparues et selon le traitement (unité/plant) (2008).....	20
Figure 11. Nombre moyen de cymes selon la période où elles sont apparues et selon le traitement (unité/plant) (2008).....	21
Figure 12. Nombre moyen de fleurs nouvellement ouvertes par période selon le traitement (unité/plant) (2008).....	21
Figure 13. Nombre moyen de nouveaux fruits par période selon le traitement (unité/plant).....	22
Figure 14. Nombre moyen de fruits récoltés par plant selon le traitement et la période où ces derniers ont été récoltés (unité/plant) (2008).....	22
Figure 15. Nombre moyen de fruits présents en même temps sur un fraisier selon la période et le traitement (unité/plant) (2008).....	23
Figure 16. Moyenne de la tension de l'eau dans le sol selon le traitement et la période (kPa). ...	24
Figure 17. Évolution du flux net de trésorerie en fonction du changement de rendement vendable (avec réduction de 5 % du temps de cueillette).	37
Figure 18. Évolution du flux net de trésoreries en fonction du changement de rendement vendable (sans réduction du temps de cueillette).	37
Figure 19. Évolution du flux net de trésorerie en fonction du prix de vente de gros des fraises..	38
Figure 20. Seuil de changement de rendement vendable à partir duquel le flux de trésorerie devient positif.....	39
Figure 21. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et la température de l'air ambiant.....	43
Figure 22. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et la radiation solaire.	44

Figure 23. Relation entre le différentiel maximal de température entre l'air au niveau du couvert végétal et celle de l'air ambiant (DMTACVAA) avec la radiation solaire (total/5 min. en kJ/m^2).	45
Figure 24. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et l'humidité relative de l'air ambiant lors d'un épisode de micro-aspersion.....	46
Figure 25. Relation entre la durée de l'effet sur la température de l'air au niveau du couvert végétal (DETACV) et la vitesse du vent lors d'un épisode de micro-aspersion.	47
Figure 26. Design du système de micro-aspersion.	49
Figure 27. Gicleur utilisé pour les traitements de micro-aspersion.	58
Figure 28. Système de micro-aspersion en opération.	59
Figure 29. Zone de récolte comportant 21 fraisiers.	60
Figure 30. Fruits dont le poids varie entre 5,1 et 46,5 g (1 carré = 2,54 cm).	61

Liste des tableaux

Tableau 1. Analyse de la variance des données relatives aux rendements et au poids moyen des fruits avant et après classement en 2008.....	14
Tableau 2. Analyse de la variance des données relatives aux fruits déclassés conséquemment à la présence de maladie en 2008.	26
Tableau 3. Composante des coûts de l'investissement du système d'irrigation par aspersion utilisé au cours de l'expérimentation.	28
Tableau 4. Provisions pour amortissements de l'investissement (\$/ha).	29
Tableau 5. Prix mensuels moyens (2008-2009) de la fraise d'automne.	30
Tableau 6. Changement de rendement vendable.	32
Tableau 7. Paramètres de déclenchement du système de refroidissement.....	33
Tableau 8. Besoins en travail pour le démarrage, la fermeture et le fonctionnement du système de refroidissement par aspersion.	33
Tableau 9. Impact sur la trésorerie de l'adoption du refroidissement par aspersion (\$/ha).....	35
Tableau 10. Impact du mode de financement de l'investissement sur la trésorerie (\$/ha).	36
Tableau 11. Seuil (année) de rentabilité de l'investissement.....	40
Tableau 12. Seuil (année) de rentabilité en fonction de l'augmentation du rendement vendable.	41

Liste des annexes

ANNEXE 1. Photos saison 2008	58
ANNEXE 2. Épisodes de micro-aspersion effectués le 2 septembre 2008	62
ANNEXE 3. Précipitations et températures minimales et maximales mesurées sur le site entre le 22 mai et le 14 octobre 2008.....	63
ANNEXE 4. Littérature sur le sujet.....	64

1 DESCRIPTION DU PROJET

1.1 Introduction

Ce projet s'articule autour des conclusions d'une première étude¹ où l'objectif principal était de vérifier le potentiel de la micro-aspersion comme méthode de refroidissement d'un couvert végétal de fraisiers. Les résultats de ce dernier indiquent que cette méthode est efficace pour diminuer la température de l'air au niveau du couvert végétal. De plus, les fraisiers refroidis ont produit des fruits au calibre plus élevé et un rendement vendable supérieur aux fraisiers non refroidis.

Les objectifs du présent projet sont orientés de façon à évaluer la faisabilité technico-économique à grande échelle de cette méthode, et ce, avec un système de micro-aspersion directement transférable en contexte de production commerciale. Le système utilisé précédemment devait répondre à des contraintes découlant d'exigences particulières en ce qui a trait à la nature du dispositif expérimental, si bien que son utilisation à grande échelle n'était pas envisageable. De plus, les résultats de ce projet permettront de consolider l'acquisition des connaissances nécessaires à la compréhension des mécanismes impliqués dans la réussite de cette technique et à l'amélioration de sa gestion.

1.2 Objectif général

Ce projet vise à optimiser la régie de culture, en particulier la gestion de l'eau dans la culture de la fraise à jours neutres, en évaluant la faisabilité technico-économique d'un système de refroidissement par évaporation du couvert végétal. Il vise également la promotion d'une agriculture durable en participant à l'avancement des connaissances favorisant l'établissement de bonnes pratiques culturelles du point de vue environnemental et agronomique.

1.3 Objectifs spécifiques

- Augmenter la productivité des plants en optimisant l'utilisation de l'eau et des nutriments par la plante;
- Étudier l'impact possible du refroidissement par évaporation sur l'incidence des maladies foliaires, racinaires et des fruits du fraisier;
- Évaluer la faisabilité technico-économique d'un système de refroidissement du couvert végétal par micro-aspersion adapté aux conditions de productions commerciales;
- Proposer une méthodologie d'utilisation de la technique de refroidissement par évaporation adaptée à la production commerciale de la fraise.

¹ Projet no. 5009-6106 – « Étude d'acquisition de connaissances du pilotage de l'irrigation par tensiométrie et de la gestion du microclimat par micro-aspersion dans la production de la fraise à jours neutres à l'Île d'Orléans ».

1.4 Étapes et échéances

<i>Activités réalisées</i>	<i>Date</i>	<i>Finalités</i>
Rencontre avec les partenaires et collaborateurs	Avril 2008	
Achat du matériel	Mai 2008	
Mise en place du dispositif expérimental	20 mai 2008	
Collecte des données	Mai à octobre 2008	
Opération du système de refroidissement	Au besoin	
Récolte des fruits et classement	Mi-juillet à mi-octobre 2008	
Saisie de données et mise en forme des fichiers pour l'analyse	Novembre à décembre 2008	
Embauche d'un professionnel de recherche	7 janvier 2009	
Revue de littérature	Janvier 2009	
Analyse des données recueillies	Février et mars 2009	
Rédaction du rapport d'étape	Mars 2009	Remise du rapport au CDAQ

<i>Activités réalisées</i>	<i>Date</i>	<i>Finalités</i>
Rencontre avec les partenaires et collaborateurs	Avril 2009	
Mise en place du dispositif expérimental	Mi-mai 2009	
Collecte des données	Mai à octobre 2009	
Opération du système de refroidissement	Au besoin	
Récolte des fruits et classement	Mi-juillet à mi-octobre 2009	
Saisie de données et mise en forme des fichiers pour l'analyse	Novembre à décembre 2009	
Analyse des données recueillies	Février, mars et avril 2010	
Rédaction du rapport final	Avril à juin 2010	Remise du rapport au CDAQ

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Mise en place de l'expérience

Les essais réalisés en 2008 et 2009 avec le fraisier à jours neutres « Seascape » se sont déroulés à la Ferme Onésime Pouliot inc. située à Saint-Jean de l'Île d'Orléans, en contexte de production commerciale et selon la régie de culture du producteur (travail du sol, implantation, fertilisation, traitements phytosanitaires et irrigation goutte-à-goutte).

En 2008, l'implantation des fraisiers a été effectuée le 16 mai, en rang triple et à une densité de 57 400 plants/ha. Dès lors, les parcelles expérimentales ont été établies et le système de micro-aspersion installé. La texture du sol était un loam argileux dont le pH moyen était de 6,1 et le taux de matière organique moyen de 4,8. Enfin, les inflorescences (cymes) ont été supprimées jusqu'au 14 juin.

En 2009, les fraisiers ont été implantés le 22 mai, en rang double et à une densité de 56 500 plants/ha. Par la suite, les parcelles expérimentales ont été établies et le système de micro-aspersion installé. La texture du sol était un loam sableux dont le pH moyen était de 6,9 et le taux de matière organique moyen de 2,8. Enfin, les inflorescences ont été supprimées jusqu'au 16 juin.

2.2 Traitements

Le couvert végétal était refroidi en utilisant un système d'irrigation par aspersion où les buses (NAAN 502-H) utilisées avaient un débit de 76 GPH, et ce, à une pression d'utilisation de 35 PSI (Figure 27, de l'annexe 1). À cette pression, le taux d'application théorique est de 3,68 mm/h ou un peu moins que 1 mm pour 15 minutes d'utilisation. En 2008, les buses étaient approvisionnées en eau par des tuyaux d'aluminium de 9,14 m de longueur par 7,6 cm de diamètre (30' x 3") communément utilisés par les producteurs et elles avaient une portée (diamètre) de 15,2 m (50'). Toutefois, l'année suivante, les tuyaux d'aluminium ont été remplacés par des tuyaux en polyéthylène, communément appelés « corlon ». L'abandon des tuyaux d'aluminium est justifié par le temps de chargement en eau du système qui était relativement long, considérant la durée d'un épisode de micro-aspersion. De plus, les joints entre les barres ne deviennent étanches que lorsqu'une certaine pression est atteinte à l'intérieur, ce qui laisse écouler un important volume d'eau par rapport au volume qui est appliqué sur les fraisiers. Ainsi, comme le système de refroidissement peut être actionné à plusieurs reprises durant une journée chaude, ce dernier gagne en efficacité avec des tuyaux en polyéthylène.

Pour déclencher le système, il faut d'abord que la température de l'air au niveau du couvert végétal atteigne 27 °C, et ce, entre 8 et 18 h. Enfin, une période de 60 minutes doit s'être écoulée depuis le dernier épisode de refroidissement. Cette dernière contrainte découle du fait qu'il est parfois impossible de diminuer la température de l'air au niveau du couvert végétal en deçà de 27 °C. De plus, la diminution de température consécutive à un épisode de micro-aspersion est d'environ 60 minutes (annexe 2). Le système est déclenché manuellement en actionnant une pompe et la durée d'un épisode d'aspersion, initialement d'une durée de 10 minutes, a rapidement été diminuée à 7 minutes, l'objectif étant de mouiller l'ensemble du feuillage.

Quoique la gestion de l'irrigation était sous la responsabilité du producteur, un suivi était effectué pour s'assurer que la tension de l'eau dans le sol (mesurée avec des tensiomètres) était comparable d'un traitement à l'autre. Advenant le cas où les épisodes de micro-aspersion auraient eu un impact en ce qui a trait à l'uniformité de l'humidité dans le sol entre les parcelles, le système d'irrigation avait été installé de façon à pouvoir intervenir individuellement dans chacune d'elles.

2.3 Dispositif expérimental

En 2008, le dispositif expérimental a été établi selon un plan en blocs (3) complets aléatoires, avec 2 traitements par bloc. Chacune des 6 unités expérimentales était subdivisée en 4 zones de suivi composées de 21 fraisiers chacune (Figure 29). Ainsi, un total de 504 fraisiers faisait l'objet d'un suivi.

En 2009, le dispositif expérimental a été établi selon un plan entièrement aléatoire où les 2 traitements à l'étude étaient répétés 4 fois, soit une répétition de plus que l'année précédente. De plus, il y avait 2 zones de récolte (44 fraisiers au total) par répétition. C'est donc 352 fraisiers qui faisaient l'objet d'un suivi. Quoique le nombre total de fraisiers soit moindre que l'année précédente, l'ajout d'une répétition permet d'augmenter la précision des analyses statistiques.

2.4 Collecte des données

Les teneurs en éléments minéraux, le pH, la matière organique du sol et la granulométrie ont été déterminés au printemps dans chacun des blocs ou répétitions. Une station météo complète a été installée sur le site afin de mesurer en continu les précipitations (pluviomètre HOBO, modèle RG3-M), la température et l'humidité relative de l'air ambiant (sonde HC-S3 de Campbell Scientific), la vitesse et la direction des vents (moniteur 05103-10 de Campbell Scientific) ainsi que la radiation solaire (pyranomètre LI200S). Hormis le pluviomètre qui est pourvu d'un acquisateur de données intégré, les différents appareils de mesure étaient reliés à un acquisateur de données (CR10X). La température et l'humidité relative de l'air au niveau du couvert végétal étaient mesurées avec des sondes de type HC-S3 de Campbell Scientific et la mouillure des feuilles avec des sondes de type 237-L également de Campbell Scientific. Ces sondes étaient reliées à des acquisiteurs de données (CR10X). La tension de l'eau dans le sol était mesurée avec des tensiomètres (hortimètre, modèle T-80, d'HORTAU). De plus, des thermocouples permettaient de mesurer la température du sol à 5, 10 et 15 cm de profondeur dans chacun des traitements. La production totale en fruits des fraisiers a été récoltée et caractérisée. Ainsi, les fruits étaient pesés, comptés et classés par catégorie. Les fruits non vendables étaient ceux qui avaient un poids inférieur à 6 g ou qui présentaient des défauts (fendillement, coup de soleil, extrémité molle, moisissure grise...), que la raison du déclassement soit d'origine biotique ou non. De plus, à la fin de la saison, le taux de matière sèche des plants a été mesuré. Enfin, le développement des fraisiers (feuilles, fleurs et fruits) a fait l'objet d'un suivi particulier qui consistait à consigner chacune des nouvelles feuilles, cymes, fleurs et le développement des fruits jusqu'à leur maturité.

3 RÉSULTATS ET ANALYSE

3.1 Résultats obtenus en fonction des objectifs spécifiques

3.1.1 Augmenter la productivité des plants en optimisant l'utilisation de l'eau et des nutriments par la plante

3.1.1.1 Rendement en fruits

Aucune différence significative n'a été observée en 2008 et 2009 entre le rendement mesuré dans les parcelles refroidies et celles non refroidies, et ce, peu importe la période de la saison (Figures 1, 2, 3 et 4). Les rendements sont rapportés sur une base relative où le rendement le plus élevé est utilisé comme valeur de référence (100 %). Conséquemment, les autres rendements, nécessairement plus bas, sont exprimés en pourcentage (%) du rendement de référence. Par exemple, en 2008, avant le classement des fruits, la période où les rendements mesurés étaient les plus importants est celle comprise entre le 1^{er} et le 15 septembre et la valeur servant de référence est celle correspondant au rendement mesuré dans les parcelles refroidies (Figure 1). De plus, le rendement vendable (après le classement des fruits) est présenté à la figure 2 où la valeur de référence demeure celle mesurée pour les parcelles refroidies de la 4^e période (1^{er} au 15 septembre) présentée à la figure 1.

En 2007, lors du projet² précédent, des rendements significativement supérieurs avaient été mesurés dans les parcelles refroidies. En effet, pour les deux dernières périodes de la saison comprises entre le 11 septembre et le 10 octobre, le rendement vendable était respectivement plus élevé de 1554 kg/ha et 1041 kg/ha ($p < 0,05$). La période correspondant à l'initiation florale de ces fruits aurait eu lieu entre le début et la fin du mois de juillet, période où des extrêmes de température avaient été mesurés. Enfin, considérant le rendement vendable cumulatif pour la saison, le rendement vendable était de 7 % supérieur dans les parcelles refroidies, soit 1 803 kg/ha ($p = 0,069$).

À titre de comparaison, le nombre de journées durant les mois de juillet et août où la température de l'air au niveau du couvert végétal était d'au moins 27 °C est respectivement de 47, 26 et 18 pour 2007, 2008 et 2009.

² Projet no. 5009-6106 – « Étude d'acquisition de connaissances du pilotage de l'irrigation par tensiométrie et de la gestion du microclimat par micro-aspersion dans la production de la fraise à jours neutres à l'Île d'Orléans ».

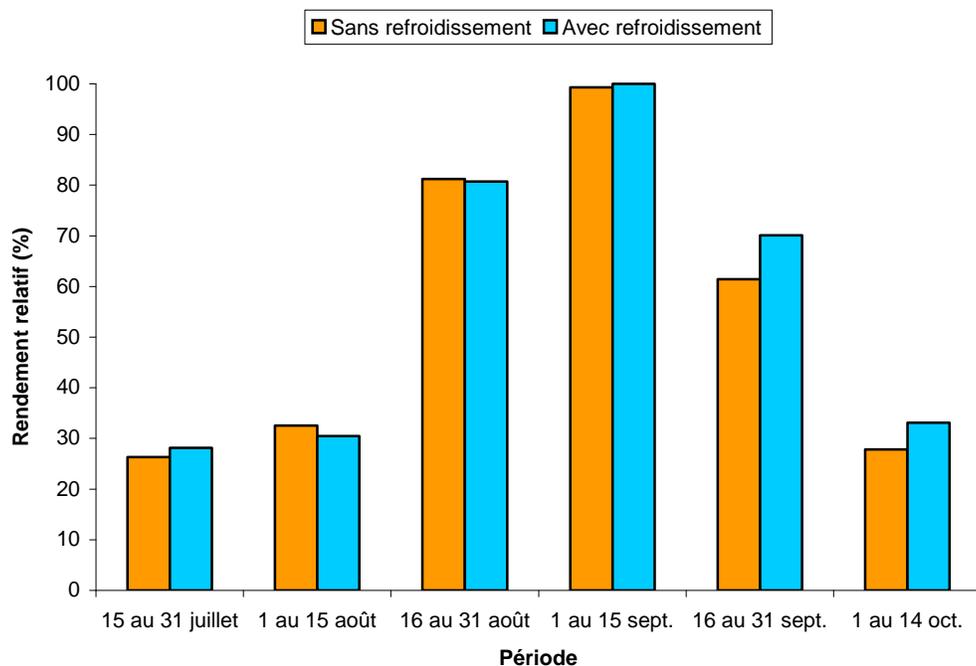


Figure 1. Rendement relatif en fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2008 (n.s.).

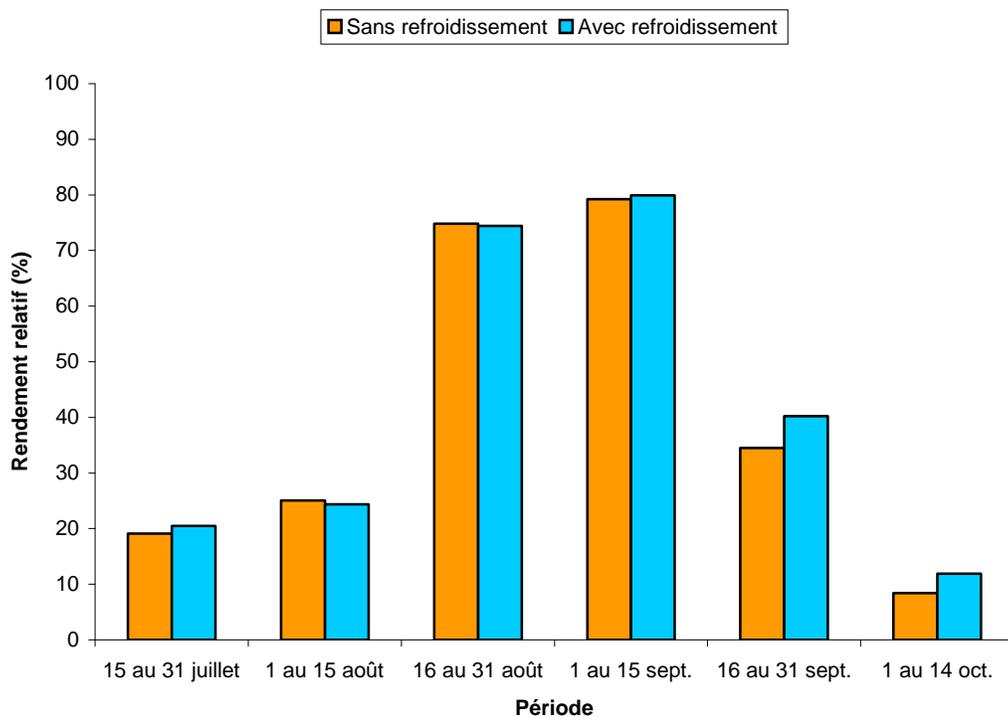


Figure 2. Rendement relatif en fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2008 (n.s.).

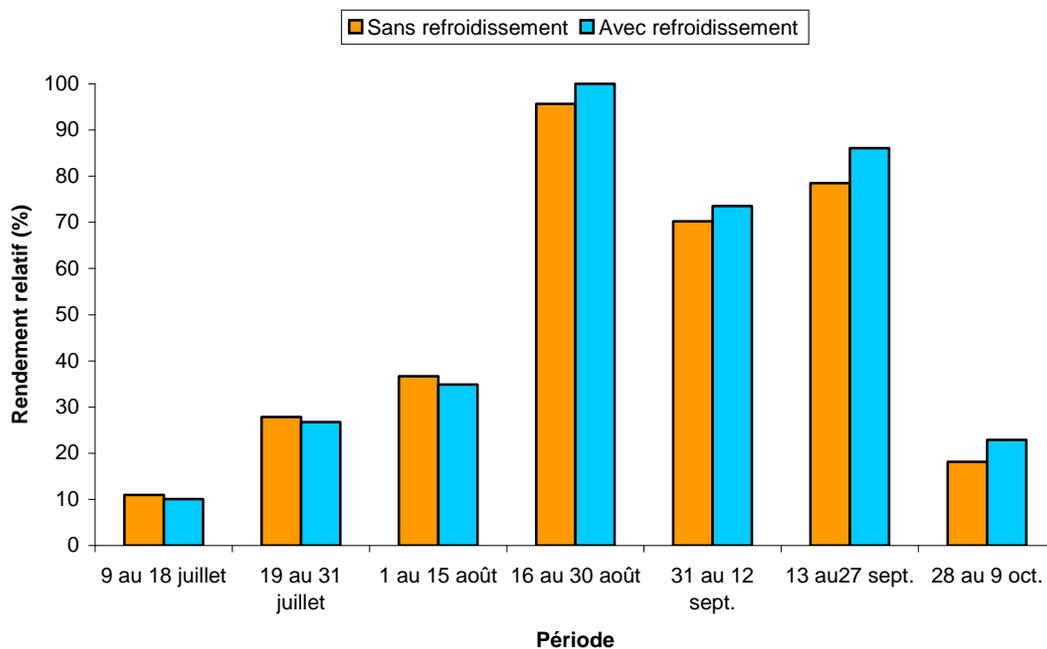


Figure 3. Rendement relatif en fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2009 (n.s.).

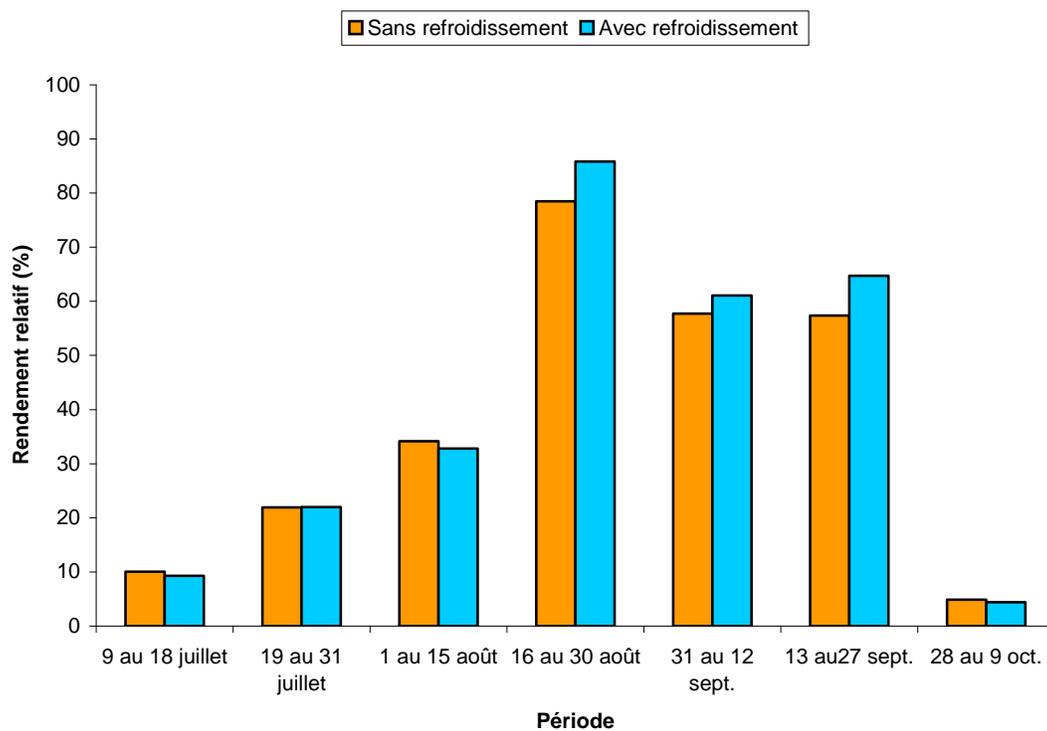


Figure 4. Rendement relatif en fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2009 (n.s.).

3.1.1.2 Calibre des fruits

En 2008, selon la période où les fruits ont été récoltés (R x P), davantage de fruits ont été déclassés en raison d'un poids inférieur à 6 g dans les parcelles sans refroidissement (P < 0,1). Enfin, toujours selon la période de récolte (R x P), les fraisiers refroidis ont produit des fruits avec un poids moyen plus élevé (P < 0,1) (Tableau 1).

En 2009, aucune différence significative n'a été observée en ce qui a trait au nombre de fruits ayant un poids inférieur à 6 g ainsi que le poids moyen des fruits avant et après classement.

Tableau 1. Analyse de la variance des données relatives aux rendements et au poids moyen des fruits avant et après classement en 2008.

Traitement ³	Fruit < 6g	Poids moyen des fruits	
		Avant classement	Vendables
R	n.s.	n.s.	n.s.
R x P	†	†	†

† Significatif au seuil 0,1
n.s. : Non significatif

Durant la période de production la plus intense de la saison, soit du 16 août au 15 septembre, davantage de fraises produites par les fraisiers non refroidis ont été déclassées car elles avaient un poids inférieur à 6 g (Figures 5 et 6). En effet, du 16 au 31 août, 140 kg/ha de ces fruits ont été récoltés sur les fraisiers non refroidis comparativement à 86 kg/ha sur les fraisiers refroidis. Pour la période suivante, 270 kg/ha de fruits ayant un poids inférieur à 6 g ont été récoltés dans les parcelles non refroidies comparativement à 184 kg/ha dans celles refroidies (Figure 5).

Les 410 kg/ha de fruits produits par les fraisiers non refroidis qui ont été déclassés en raison de leur faible poids durant la période de pointe, représentent en termes d'unité/ha, plus de 98 000 fruits (poids moyen des fruits déclassés de 4,2 g) (Figure 6).

³ Traitement au sens statistique. Le « R » représente la comparaison des résultats obtenus entre les deux traitements de refroidissement, soit avec et sans micro-aspiration. Le « R x P » signifie que les résultats de chacun des deux traitements sont comparés ensemble pour chacune des sept périodes.

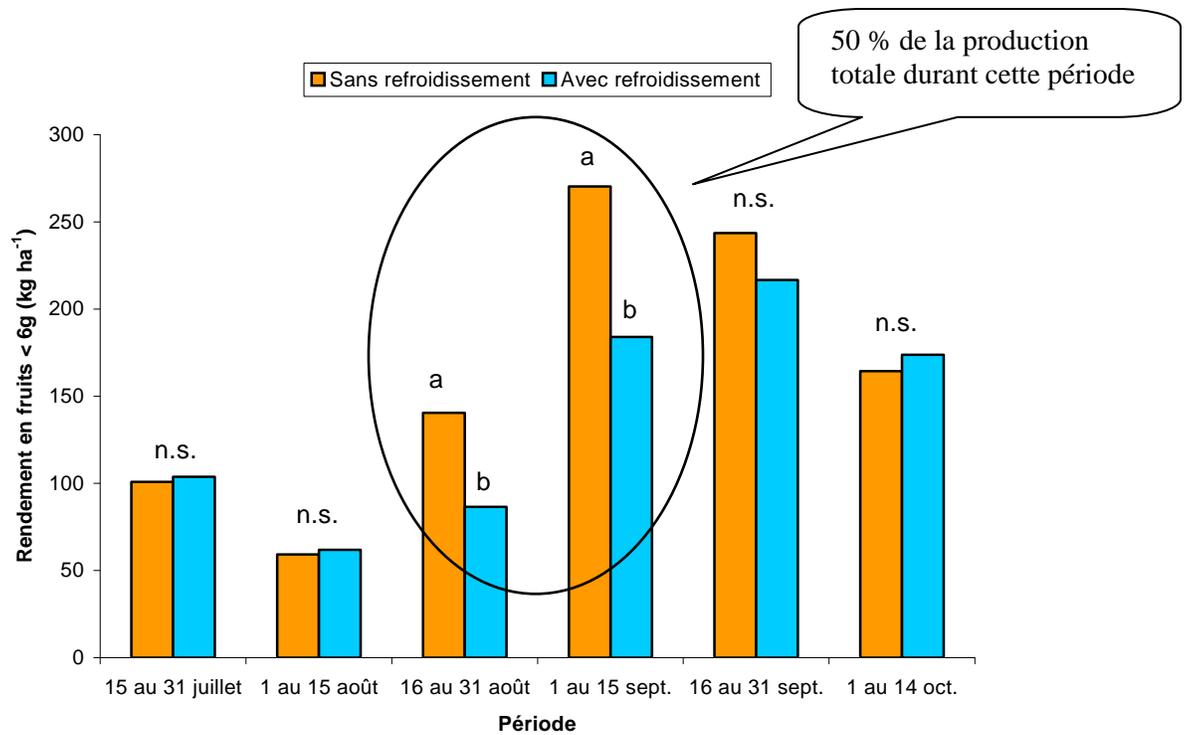


Figure 5. Rendements en fruits dont le poids est inférieur à 6 g selon le traitement et la période de récolte en 2008 (kg/ha).

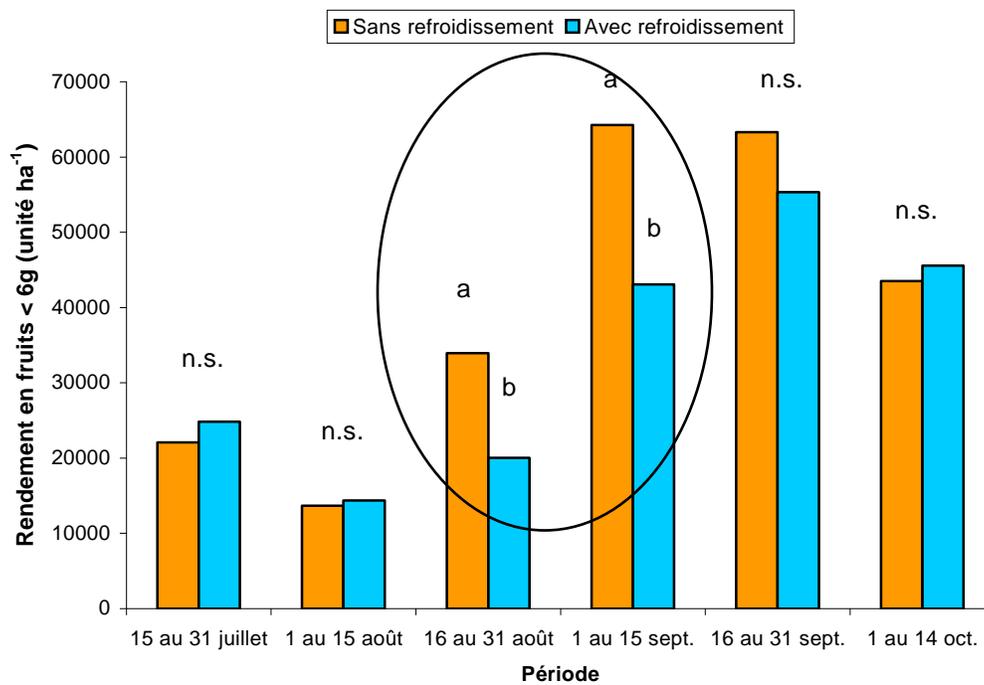


Figure 6. Rendements en fruits dont le poids est inférieur à 6 g selon le traitement et la période de récolte en 2008 (unité/ha).

L'influence du refroidissement s'observe aussi sur le poids moyen des fruits. Pour les récoltes effectuées du 16 août au 31 septembre, le poids moyen des fruits récoltés sur les plants refroidis était significativement plus élevé (Figure 7).

Suite au classement des fruits, la période où une différence est observée se limite du 16 au 31 août (Figure 8). En effet, lors du classement, les fruits ayant un poids inférieur à 6 g sont soustraits du rendement. Conséquemment, le poids moyen des fruits vendables est plus élevé, peu importe que les fraisiers aient été refroidis ou non. Cette situation s'explique du fait que les fruits dont le poids était inférieur à 6 g ne sont pas considérés à la figure 7. Aussi, à la figure 8, le poids moyen des fruits à la dernière période de récolte (1^{er} au 14 octobre) est significativement différent, mais à la faveur des plants non refroidis. Toutefois, il est à noter que le rendement vendable durant cette période est très faible (Figure 2).

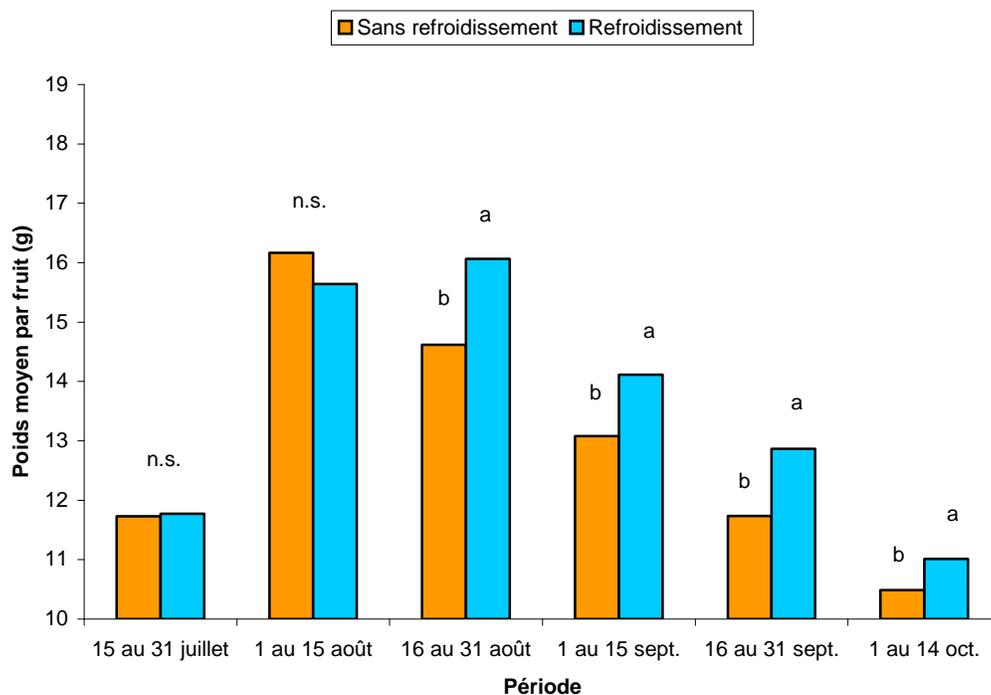


Figure 7. Poids moyen des fruits avant classement selon le traitement et la période de récolte en 2008 (g).

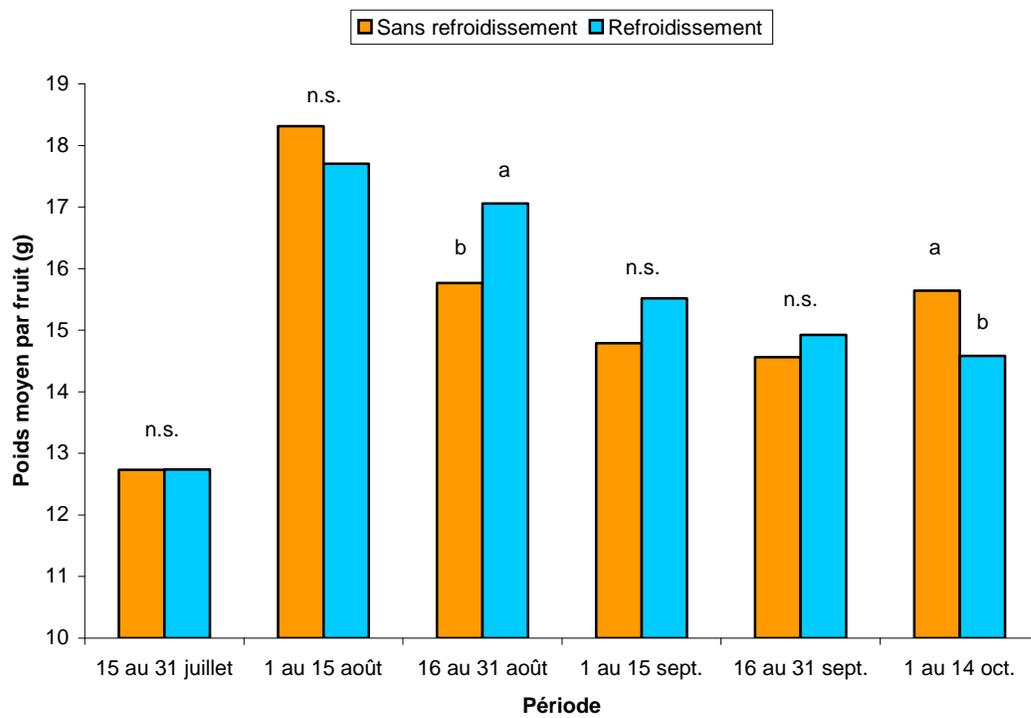


Figure 8. Poids moyen des fruits vendables selon le traitement et la période de récolte en 2008 (g).

Discussion des résultats obtenus en 2008 ayant trait à la différence de calibre entre les fruits produits par les fraisiers refroidis et non refroidis

Note : *Les résultats présentés aux figures 9 à 15 inclusivement, n'ont pas été analysés statistiquement.*

Les hypothèses suivantes (4) sont formulées et discutées afin d'expliquer la différence observée.

1. En situation de stress, le mûrissement des fruits serait plus rapide.

En 2007⁴, en ce qui a trait aux fruits récoltés entre le 31 juillet et le 13 août, le calibre des fruits produits par les fraisiers non refroidis était inférieur à ceux produits par les fraisiers refroidis. Toutefois, pour la même période de référence, les rendements étaient supérieurs dans les parcelles non refroidies. L'hypothèse retenue, pour expliquer ces rendements supérieurs, est que le stress subi par les fraisiers non refroidis était responsable du mûrissement accéléré des fruits. Comme les fruits mûrissaient plus rapidement que ceux des parcelles refroidies, le volume de fruits récoltés y était supérieur. Toutefois, lors du précédent projet, il n'y avait pas de suivi du développement des plants permettant de déterminer le nombre de jours entre la floraison et le mûrissement.

En 2008, le nombre de jours entre l'ouverture de la fleur et la maturité des fruits était semblable (n.s.) entre les deux traitements (Figure 9). De plus, ce nombre était de 20, lors des premières récoltes et de 40 lors des dernières récoltes. L'absence de différence entre les deux traitements, écarte l'hypothèse #1. En effet, un nombre supérieur de jours entre la floraison et le mûrissement du fruit aurait possiblement permis à ces fruits de prolonger la période où le grossissement du fruit est possible. Cependant, l'efficacité avec laquelle le grossissement du fruit s'est effectué pourrait expliquer la différence observée en ce qui a trait au calibre, mais cette hypothèse ne peut pas être vérifiée avec ces résultats.

2. Les développements végétatif, florifère et fructifère de fraisiers soumis à des conditions de croissance variées (avec et sans refroidissement) pourraient être différents.

Lors du précédent projet, les résultats obtenus ont permis de catégoriser l'influence du refroidissement à « court terme » et « à retardement ». L'impact des épisodes de refroidissement se mesure rapidement sur le calibre des fruits et lorsque ces épisodes ont lieu suffisamment tôt dans la saison, le rendement obtenu quelques semaines plus tard est supérieur à celui mesuré dans les parcelles non refroidies.

Lors des essais réalisés en 2007, près de 170 épisodes de refroidissement ont été nécessaires durant les mois de juillet et août. À titre comparatif, moins de 160 épisodes ont été effectués pour l'ensemble des saisons 2008 et 2009. Suite à ces épisodes, le calibre des fruits était supérieur

⁴ Projet no. 5009-6106 – « Étude d'acquisition de connaissances du pilotage de l'irrigation par tensiométrie et de la gestion du microclimat par micro-aspersion dans la production de la fraise à jours neutres à l'Île d'Orléans ».

durant cette période et le rendement en fruits des fraisiers a été supérieur pour le dernier mois de récolte, soit du 11 septembre au 10 octobre. Selon Pritts et Handley (1998), l'initiation florale s'effectue environ 42 jours avant la floraison. Conséquemment, pour que les épisodes de refroidissement puissent avoir un impact mesurable sur le développement du plant, il faut disposer de suffisamment de temps pour être en mesure de le vérifier avec les rendements en fruits. Tel que mentionné précédemment, le développement des plants ne faisait pas l'objet d'un suivi en 2007.

Au 1^{er} juillet 2008, le nombre moyen de feuilles par fraisier était de 5,3 pour ceux refroidis et de 6,2 pour ceux non refroidis. À partir du 1^{er} juillet et jusqu'au 14 octobre, les fraisiers non refroidis ont produit 2 feuilles de plus que ceux refroidis (Figure 10). De plus, environ 80 % du développement foliaire des fraisiers était réalisé au 31 août. Au terme de la saison, les fraisiers non refroidis avaient produit en moyenne 23 feuilles comparativement à 20 pour ceux refroidis. En ce qui a trait au nombre moyen de cymes produites par les plants durant la saison, il est de 10,7 pour les fraisiers non refroidis et de 9,6 pour ceux refroidis (Figure 11). De plus, environ la moitié du nombre total de cymes produites pour la saison était atteinte au 15 août. Cependant, peu importe le nombre de cymes par plant, le nombre de fleurs nouvellement ouvertes par période est semblable d'un traitement à l'autre (Figure 12). Le constat est le même en ce qui a trait au nombre de nouveaux fruits par période (Figure 13) et le nombre de fruits mûrs par plant (Figure 14). Enfin, le nombre de fruits présents en même temps sur un plant est semblable peu importe le traitement (Figure 15).

Les épisodes de stress thermique seraient survenus trop tard en saison pour que ces derniers influencent le développement des plants ou pour que cette influence soit mesurable. L'initiation florale étant effectuée, et par conséquent, le nombre de fruits, seule une différence de calibre peut alors être mesurée.

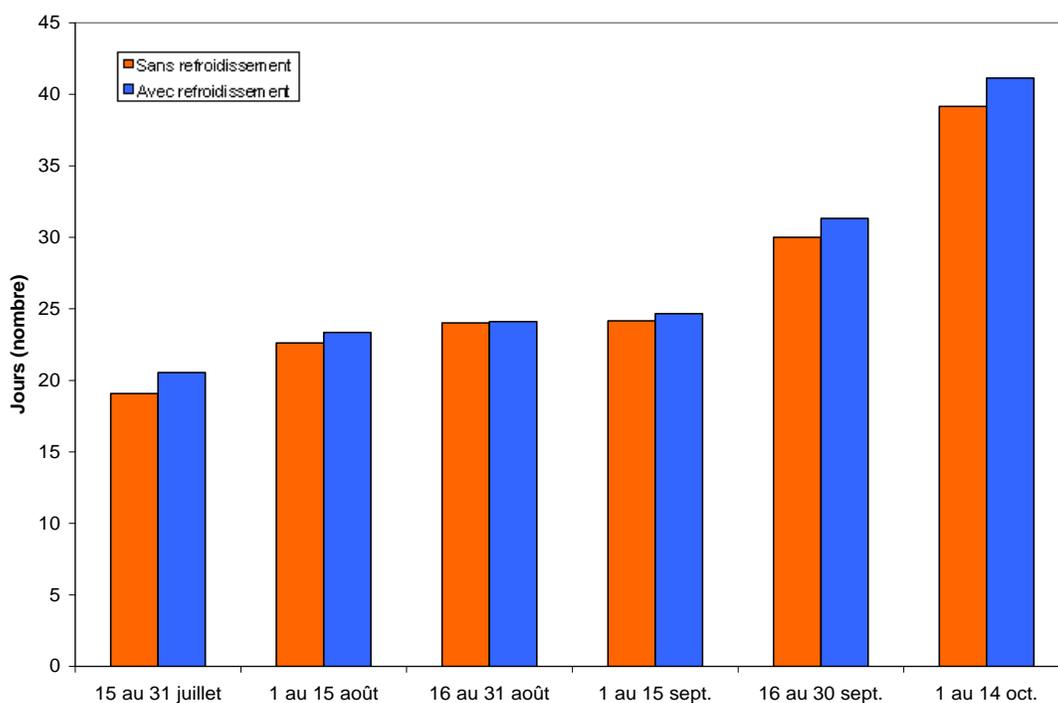


Figure 9. Nombre moyen de jours entre l'ouverture de la fleur et le fruit mûr selon le traitement et la période où ce dernier a été récolté (2008).

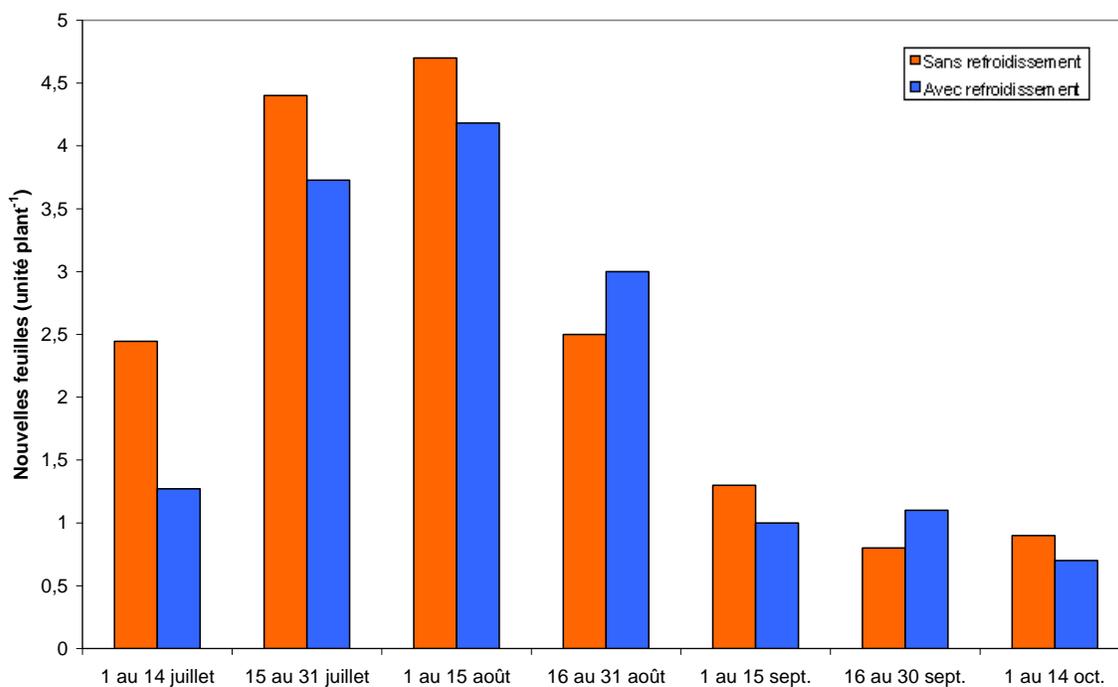


Figure 10. Nombre moyen de feuilles par plant selon la période où elles sont apparues et selon le traitement (unité/plant) (2008).

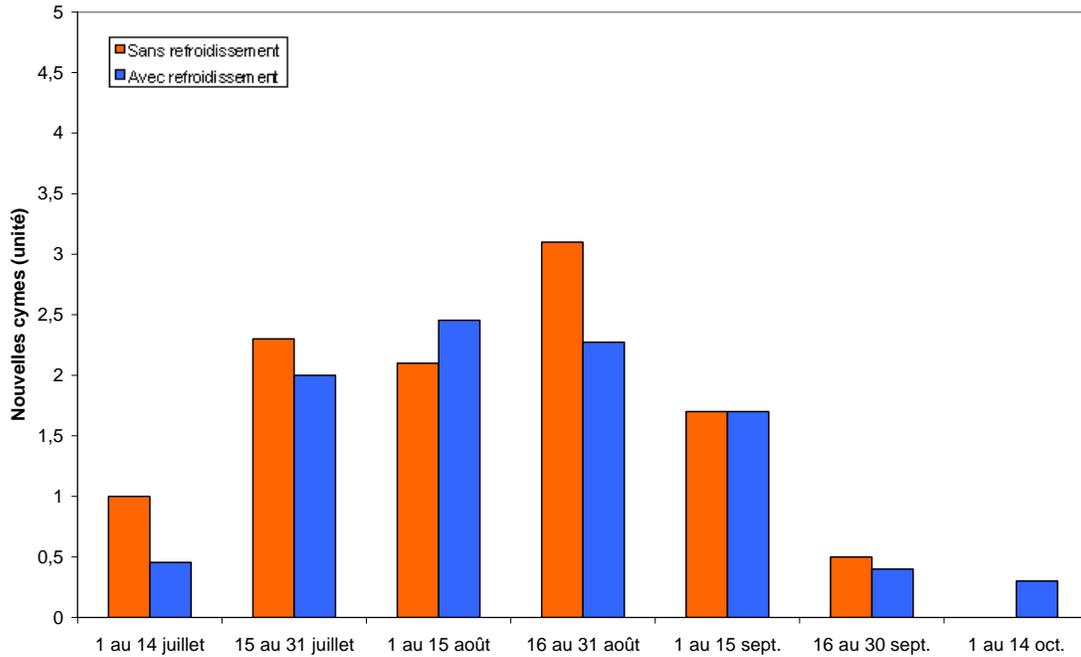


Figure 11. Nombre moyen de cymes selon la période où elles sont apparues et selon le traitement (unité/plant) (2008).

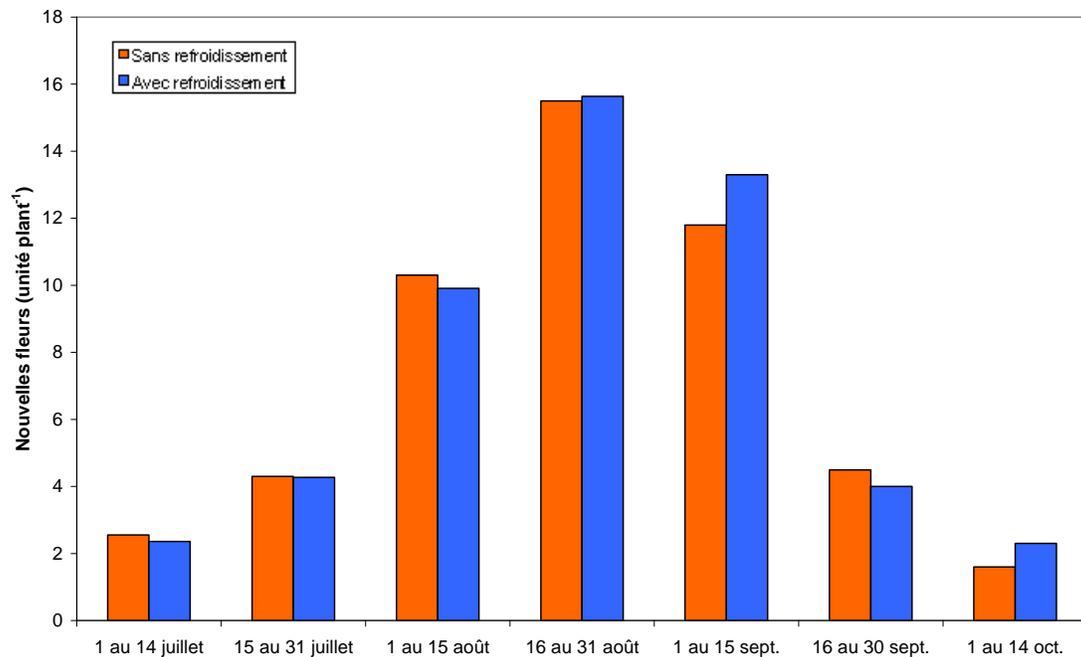


Figure 12. Nombre moyen de fleurs nouvellement ouvertes par période selon le traitement (unité/plant) (2008).

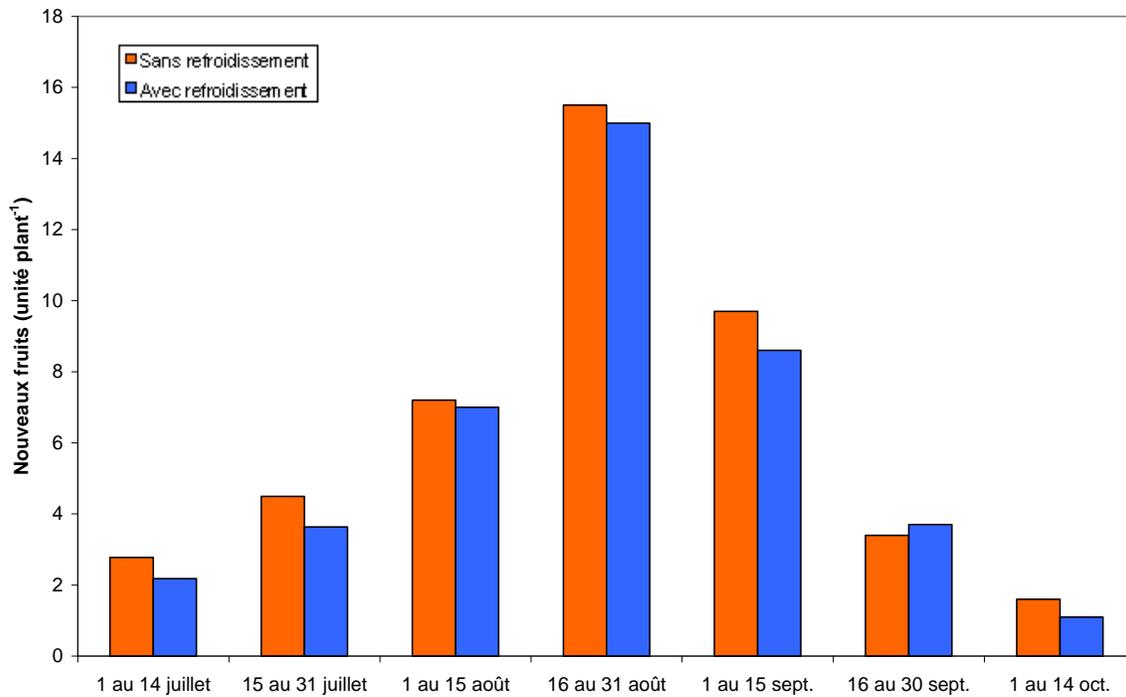


Figure 13. Nombre moyen de nouveaux fruits par période selon le traitement (unité/plant) (2008).

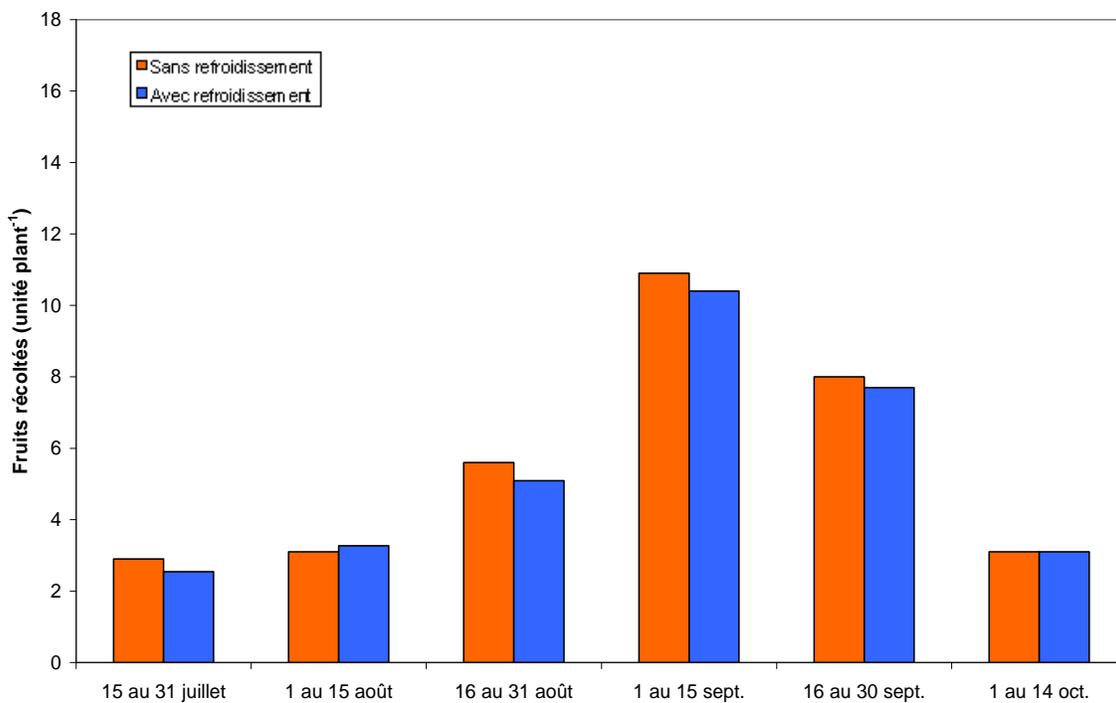


Figure 14. Nombre moyen de fruits récoltés par plant selon le traitement et la période où ces derniers ont été récoltés (unité/plant) (2008).

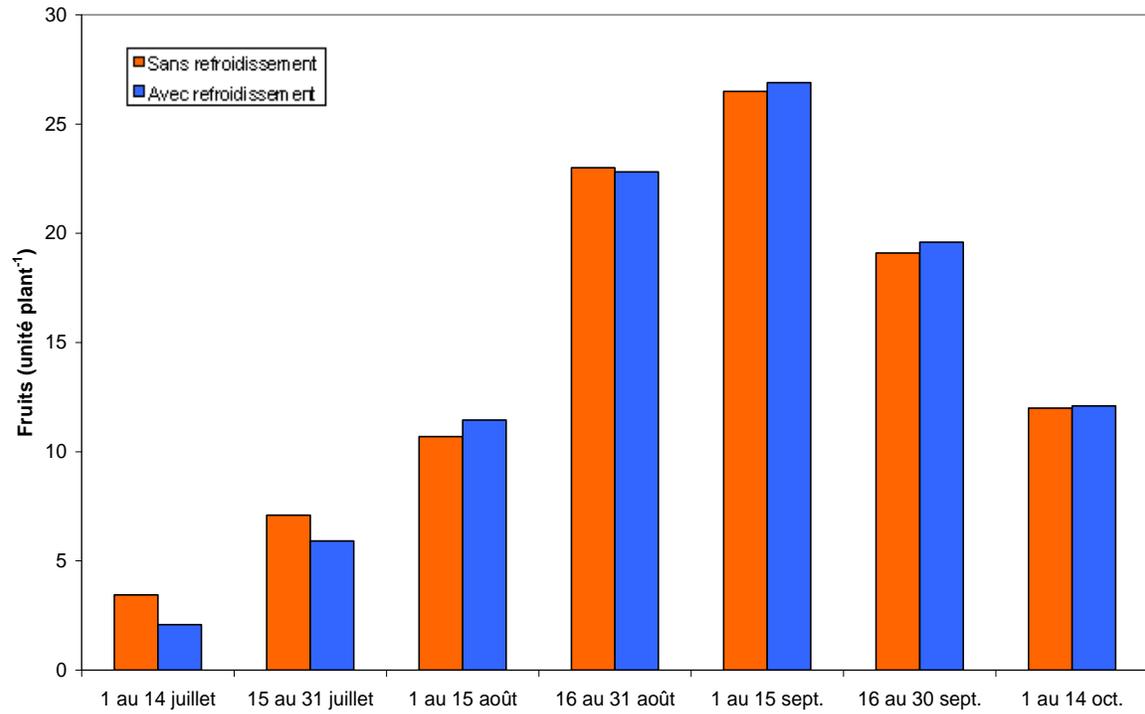


Figure 15. Nombre moyen de fruits présents en même temps sur un fraisier selon la période et le traitement (unité/plant) (2008).

3. Les fraisiers refroidis auraient profité de condition d'humidité de sol avantageuses.

La tension de l'eau dans le sol s'est maintenue près de la capacité au champ hormis durant les périodes comprises entre le 16 août et le 15 septembre (Figure 16). Durant cette période, les précipitations étant moindres (ANNEXE 3), la demande en eau des plants, conséquente au nombre de fruits présents sur le plant, était très importante (Figure 15) et les épisodes de refroidissement actifs. Conséquemment, une partie du volume d'eau appliqué a pu atteindre le sol et ainsi favoriser les fraisiers refroidis.

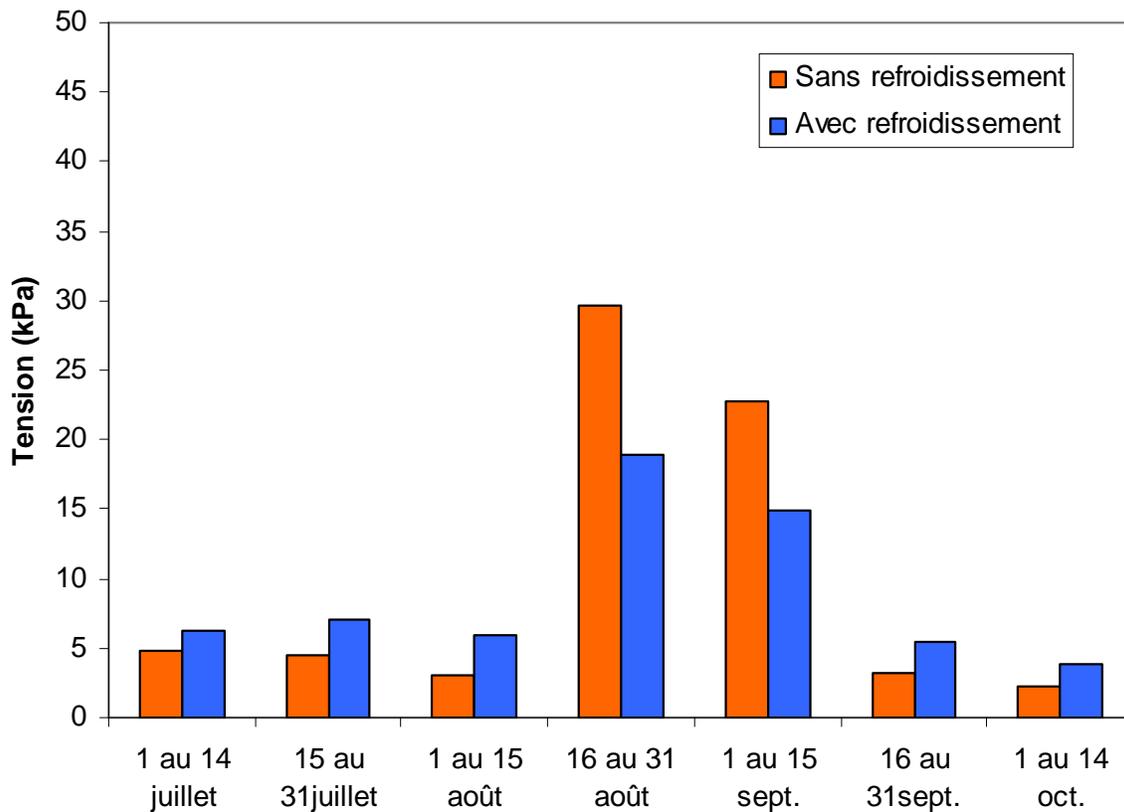


Figure 16. Moyenne de la tension de l'eau dans le sol selon le traitement et la période (kPa).

4. La diminution de la température, conséquente aux épisodes de micro-aspersion, aurait été profitable aux fraisiers ainsi refroidis.

La photosynthèse, la croissance, la transpiration et la sensibilité des fraisiers à la photopériode sont toutes influencées par la température. Différentes études ont démontré cette influence et les conclusions de ces dernières sont généralement semblables, à savoir que les températures supérieures à 30 °C sont néfastes à la productivité des fraisiers. Des températures se situant entre 30 et 40 °C sont suffisantes pour faire chuter la conductivité stomatale (g_s) et, par le fait même, la transpiration (E) (Kadir et coll., 2006). Il en résultera alors une augmentation de la température du plant. La photosynthèse, quant à elle, est également perturbée à des températures élevées. Au-delà de 30 °C, température à laquelle la photosynthèse nette (P_{net}) est maximale (Carlen et coll., 2008), la concentration de chlorophylle diminue ainsi que l'activité photosynthétique (Carlen et coll., 2008; Gulen et Eris, 2003). La croissance des plants de fraises est également affectée par des températures élevées du même ordre (Kadir et coll., 2006; Wang et Camp, 2000). La croissance des racines sera optimale à des températures plus faibles, mais l'accumulation d'amidon par gramme de poids frais de racine est négativement corrélée avec l'augmentation de la température (Le Mière et coll., 1996). Il est à noter que la température du sol était semblable entre les deux traitements. De plus, les fruits sont plus sensibles aux températures élevées comparativement aux autres parties du plant (Hancock, 2000; Wang et Camp, 2000).

L'impact de la température sur les fraisiers peut être différent selon les cultivars. En consultant plusieurs publications scientifiques, il apparaît qu'il est difficile de comparer la résistance à la chaleur de différents cultivars. Les différentes études utilisent des traitements thermiques et des conditions environnementales différentes rendant les comparaisons entre ces dernières très limitées. Selon Serçe et Hancock (2005), le cultivar de fraises à jours neutres « Fort Laramie » est le plus résistant à la chaleur. Une autre étude, celle de Rowley et coll. (2010), indique que le cultivar « Seascape », le principal cultivar à jours neutres utilisé au Québec, a une tolérance à la chaleur qualifiée de modérée, alors que les cultivars « Albion », « Evie 2 » et « Tribute » ont respectivement un niveau qualifié de mauvais, excellent et bon.

L'utilisation de paillis de plastique de couleur noire aura un effet sur la croissance des fraisiers. Ce dernier contribue à transmettre une quantité significative de chaleur sensible à l'environnement aérien d'une culture, engendrant ainsi une transpiration plus importante que celle retrouvée pour une culture sur sol nu, occasionnée par les valeurs importantes d'énergie transmise par convection (Tarara, 2000). Les fraisiers bénéficieront d'une augmentation plus rapide de la température de leur microclimat, accélérant leur croissance en début de saison, mais qui risque de ralentir lors des journées à température élevée. De plus, une transpiration accrue élèvera les besoins d'irrigation.

Une grande quantité d'informations relatives aux paramètres optimaux de croissance des fraises existe. Cependant, il est difficile de comparer les résultats des différentes études étant donné les grandes variations concernant les traitements et les conditions environnementales utilisés. Les essais de la majorité des études consultées ont été réalisés en cabinets de croissance, dans lesquels les températures, photopériodes, taux d'humidité et régimes d'irrigation sont constants. Il faut donc considérer ce fait avant de transposer les résultats de ces études à une culture en champ. Parmi les articles consultés, une minorité traitait des cultivars de fraisiers à jours neutres.

Note : Voir l'annexe 4 pour davantage d'informations.

3.1.2 Étudier l'impact possible du refroidissement par évaporation sur l'incidence des maladies foliaires, racinaires et des fruits du fraisier

Depuis les premiers essais réalisés en 2006 et 2007 lors du précédent projet (PAECQ 5009-DS 6106) jusqu'aux essais réalisés en 2008 et 2009 dans le cadre de celui-ci, en aucun cas l'incidence de maladies foliaires n'a pu être reliée aux applications répétées d'eau par la micro-aspersion. De plus, il est important de mentionner que la régie phytosanitaire du producteur n'a jamais tenu compte des volumes d'eau appliqués par la micro-aspersion.

Maintenant, en ce qui a trait aux fruits, ces derniers étaient classés selon leur qualité (voir section 2.4). Si l'abondance des précipitations peut expliquer l'incidence plus élevée de la moisissure grise observée en 2008 (ANNEXE 3), il est plus difficile d'expliquer que le nombre de fruits déclassés pour cette raison est supérieur dans les parcelles sans refroidissement ($p < 0,1$) (Tableau 2). De plus, il n'y a pas de différence (n.s.) selon la période (R x P). Toutefois, en termes de poids (kg/ha), il n'y a pas de différence significative (n.s.).

Davantage de fraises ayant du botrytis ont été récoltées dans les parcelles qui n'ont pas reçu de micro-aspersion.

En effet, à l'échelle du champ, le nombre de fruits déclassés pour cette raison est 1,6 fois plus élevé dans les parcelles non refroidies, comparativement à celles refroidies. Toutefois, en termes de poids, cela représente un peu plus de 400 kg/ha/traitement et il n'y a pas de différence entre les 2 traitements (n.s.).

Tableau 2. Analyse de la variance des données relatives aux fruits déclassés conséquemment à la présence de maladie en 2008.

Traitement ⁵	Botrytis	
	kg/ha	unité/ha
R	n.s.	*
R x P	n.s.	n.s.

* Significatif au seuil 0,05
n.s. Non significatif

⁵ Traitement au sens statistique. Le « R » représente la comparaison des résultats obtenus entre les deux traitements de refroidissement, soit avec et sans micro-aspersion. Le « R x P » signifie que les résultats de chacun des deux traitements sont comparés ensemble pour chacune des sept périodes.

3.1.3 Évaluer la faisabilité technico-économique d'un système de refroidissement du couvert végétal par micro-aspersion adapté aux conditions de productions commerciales

L'objectif de ce chapitre est d'analyser la rentabilité économique de la décision d'adopter un système de refroidissement par aspersion de la fraise à jours neutres. La section 3.1.3.1 présente l'approche méthodologique générale tandis que la section 3.1.3.2 est consacrée aux différentes composantes de la simulation économique et financière. La section 3.1.3.3 présente les principaux résultats de l'analyse économique ainsi que les différentes analyses de sensibilité.

3.1.3.1 Approche méthodologique

La méthode d'évaluation retenue est une approche de simulation financière et économique. Elle se base sur les postes qui sont susceptibles de connaître des changements suite à l'adoption de l'aspersion de la fraise à jours neutres. Selon cette méthode et sur la base de la technique de budgétisation partielle, il s'agit de prendre en considération les coûts nouveaux et/ou en moins et les revenus perdus et/ou en plus. L'analyse est effectuée en prenant l'hectare comme unité de base.

3.1.3.2 Principales composantes de la simulation

3.1.3.2.1 Investissement

La valeur de l'investissement comprend (i) le coût de l'installation d'un puits (creusage et installation, pompe) et (ii) le coût du matériel et des systèmes d'irrigation. Le tableau 3 présente le coût et la durée de vie des différentes composantes de l'investissement. Le coût total d'un système d'irrigation pour une superficie de 4-6 ha est estimé à 45 725 \$. Ce calcul utilise les données des références économiques du CRAAQ (CRAAQ, 2008a et 2008b) et des données de prix communiquées par les vendeurs de matériel d'irrigation à Québec (notamment pour les accessoires). Les valeurs de revente et les coûts d'entretien utilisés proviennent de la littérature consultée.

Tableau 3. Composante des coûts de l'investissement du système d'irrigation par aspersion utilisé au cours de l'expérimentation.

Spécification du système	Pompe diesel complète (tongue, essieu, réservoir)			
Capacité d'irrigation	4 ha			
Diamètre entrée et sortie	12,7 cm x 12,7 cm			
Moteur	59,6 kW			
Pression minimale	3,8 bar			
Pression maximale	10,3 bar			
Description des investissements	Durée de vie (ans)	Coût (\$)	Valeur de revente (% du coût d'acquisition)	Maintenance et réparation (% du coût d'acquisition)
Puits	20	3 784	0	2
Pompe et installation	18	3 623	15	4
Système de délivrance de l'eau				
Diesel	12	19 565	10	6
Conduites d'eau et accessoires	5	9 350	0	1
Gicleurs	5	9 399	0	2
Total des investissements	45 721			

(Sources : AAEE, 2000; CRAAQ, 2009; Dalton, Files et Yarborough, 2002; Selley, 2001)

Pour les besoins de la présente étude nous formulons l'hypothèse selon laquelle l'exploitant affecte une partie de son système d'irrigation au refroidissement par aspersion : puits, pompe et installation, système de délivrance de l'eau jusqu'au système de micro-aspersion. Le système de délivrance de l'eau étant également utilisé à d'autres fins, nous considérons que seulement 7,5 % des investissements pour ces postes sont affectés au refroidissement par aspersion.⁶ Par contre, l'investissement pour « Conduites d'eau et accessoires » et « Gicleurs » est entièrement affecté au refroidissement. Pour une superficie de 1 ha, le besoin total en investissements représente donc une valeur totale de 5 193 \$. L'amortissement est linéaire. Le tableau 4 présente les dotations aux amortissements pour un hectare et cela en tenant compte de la valeur de revente des investissements.

⁶ Nous considérons que le temps d'utilisation de la pompe pour l'irrigation est de 158 heures et celui pour l'aspersion de 12,8 heures, ce qui représente 7,494 % du temps total d'utilisation.

Tableau 4. Provisions pour amortissements de l'investissement (\$/ha).

Description des investissements	Dotation pour amortissement (\$/ha)
Puits	2,84
Pompe et installation	3,21
Pompes à eau (pompe complète au diesel)	27,49
Conduites d'eau et accessoires	467,49
Buses d'aspersion	469,95
Total	970,97

Finalement, nous considérons que l'investissement est entièrement financé par les fonds propres de l'entreprise. Il n'y a donc pas d'annuités associées au remboursement d'un emprunt. Le financement de l'investissement par un emprunt est intégré dans les analyses de sensibilité que nous effectuons.

3.1.3.2.2 Horizon de planification

La durée de vie de l'investissement est très variable selon les différentes composantes de l'équipement (Tableau 3). Nous retenons un horizon de planification de 5 ans. C'est la durée de vie des composantes du système d'irrigation uniquement dédiées au refroidissement.⁷

3.1.3.2.3 Changement dans le revenu brut

Le changement des revenus bruts associé à la mise en place d'un système de refroidissement représente le changement dans la production vendable (ΔQ) multiplié par le prix des fraises (P_{fraises}):

$$\Delta R = \Delta Q \cdot P_{\text{fraises}} \quad (1)$$

• Le prix des fraises

L'Observatoire du Conseil québécois de l'horticulture (CQH) collecte régulièrement des données sur les prix des fraises au Québec (CQH, 2009). Les analyses des données historiques montrent une certaine variabilité des prix selon (i) la période de l'année et (ii) de l'année à l'étude. Cette variabilité semble être plus importante dans le cas de la fraise d'automne (Figures A et B à la page suivante).

⁷ Le Centre d'études sur les coûts de production en agriculture (CECPA) propose une durée de vie de 20 ans pour un système d'irrigation avec une valeur de récupération de l'ensemble de l'investissement de 5 % (CECPA, 2007). Cependant, le document du CECPA ne donne pas de détail sur les différentes composantes du système.

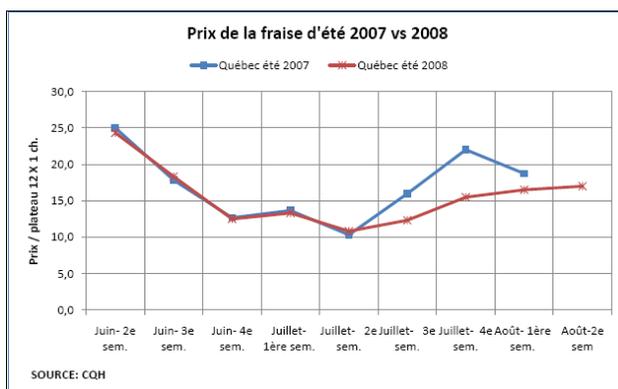


Figure A. Évolution du prix de la fraise d'été pour les années 2007 et 2008 (Source : CQH, 2009).

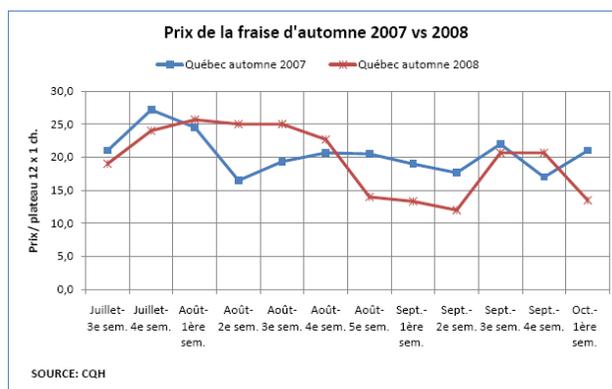


Figure B. Évolution du prix de la fraise d'automne pour les années 2007 et 2008 (Source : CQH, 2009).

Les données de la présente étude ont été collectées en 2008 et 2009. Les prix utilisés pour l'analyse principale seront les moyennes de ces deux années. Il est généralement admis que le niveau des prix est partiellement déterminé par les conditions climatiques et cela par le biais de l'offre de produits agricoles. Et, le système de refroidissement a pour objectif principal d'atténuer les conséquences de la chaleur sur la quantité de fraises vendables. Nous formulons cependant l'hypothèse selon laquelle l'amélioration des rendements ne suffit pas à modifier le niveau des prix. Le tableau 5 présente les prix qui ont été utilisés dans l'analyse lors qu'il s'agit d'une vente de gros.

Tableau 5. Prix mensuels moyens (2008-2009) de la fraise d'automne.

Mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Moyenne pondérée
Prix (\$/kg)	5,00	5,10	4,20	4,00	4,24

L'étude de rentabilité se fait sur une base annuelle. Par conséquent, nous utilisons une moyenne pondérée du prix. Nous essayons ainsi de capter le fait que le changement dans le rendement vendable peut différer selon le mois de l'année. Par ailleurs, le document du CRAAQ (2007) sur le budget de production des fraises à jours neutres indique qu'une partie de la production est vendue au détail à la ferme; 5 % dans le cas du budget de 2007. Selon les données du CRAAQ (2007), le prix au détail à la ferme est plus élevé que le prix de gros d'environ 22,25 %. Cette donnée a été confirmée par une enquête rapide auprès de producteurs de fraises à jours neutres. Dans la présente analyse économique, nous considérons donc que le prix au détail est de 22,5 % supérieur à celui de gros.

- *Le changement dans le rendement vendable*

À la base de cette étude se trouvent les hypothèses selon lesquelles (i) la température joue un rôle important sur le rendement et (ii) la mise en place d'un système de refroidissement augmente la quantité de fraises vendables en améliorant le rendement et en réduisant les dommages associés aux trop fortes températures. Le système de refroidissement joue donc le rôle d'agent de contrôle des dommages. Par conséquent, la valeur du changement de rendement vendable (ΔRdt) devrait varier positivement avec l'aspersion. Les tests statistiques précédents ont testé les hypothèses selon lesquelles (i) la récolte totale des parcelles refroidies est supérieure à celle des parcelles témoins (non refroidies) et (ii) la récolte vendable des parcelles refroidies est supérieure à celle des parcelles témoins (non refroidies). Nous testons également l'hypothèse nulle selon laquelle les différences de rendements entre les parcelles refroidies et celles non refroidies sont nulles. La moyenne des différences de rendement est effectivement plus élevée dans les blocs traités et cela que nous nous intéressions à la récolte totale ou à la récolte vendable. La différence est plus importante durant les mois de septembre et d'octobre, faible pour le mois de juillet et négative au mois d'août. Cette différence nous amène à effectuer une analyse en utilisant des données hebdomadaires. Cela est d'autant plus pertinent qu'il existe également une variabilité des prix des fraises selon la période de l'année. Nous formulons l'hypothèse selon laquelle, le producteur maîtrise le système de refroidissement et que celui-ci ne peut pas avoir d'impact négatif sur la différence de rendement vendable. En effet une fois que le système de refroidissement est installé, son déclenchement dépend du producteur. Nous considérons donc que, lorsque la différence de rendement (ΔRdt) est négative, celle-ci est nulle.⁸ Nous avons donc :

$$\Delta Rdt^* = \max \{0, \text{différence de rendement}\} \quad (2)$$

Et, le changement de la quantité vendable totale de fraises est :

$$\Delta Q = \text{Superficie} \times \Delta Rdt^* \quad (3)$$

Comme pour le prix, nous utilisons une moyenne pondérée du changement pour le calcul du changement du rendement vendable. Le tableau 6 présente les résultats obtenus pour la première année de l'expérimentation.

⁸ La justification de ce choix peut également être statistique. En effet, les tests effectués ont montré que la valeur négative obtenue au mois d'août n'est pas statistiquement différente de zéro.

Tableau 6. Changement de rendement vendable.

Mois	Répartition mensuelle de la production annuelle (%)	Médiane (P50)		Changement moyen	
		Expérimentale (%)	Utilisée ^(a) (%)	Moyenne (%)	Intervalle de confiance (95 %) de la moyenne (%)
Juillet	8,15	-2,49	0,00	39,50	[10,27 - 68,72]
Août	39,31	1,13	1,13	23,50	[9,51 - 37,49]
Septembre	47,80	8,17	8,17	28,77	[10,27 - 47,26]
Octobre	4,74	20,24	20,24	109,87	[41,75 - 177,98]
Moyenne pondérée		5,11	5,31	31,42	[11,47 - 51,37]

(a) Nous appliquons l'hypothèse selon laquelle lorsque la différence est négative nous considérons qu'elle est nulle.

Le tableau 6 montre qu'il existe une très grande variabilité des résultats du changement de rendement vendable. Cela est encore plus marqué pour les mois de juillet et d'octobre. L'utilisation de la moyenne ne semble donc pas être indiquée pour la présente analyse et cela est également confirmé par l'analyse des données de la deuxième année d'expérimentation. Nous choisissons par conséquent d'utiliser la médiane du changement annuel de rendement vendable qui est 5,31 % en 2008 et 7,55 % en 2009. La valeur utilisée dans l'analyse est la moyenne des deux médianes soit 6,43 %. Les analyses de sensibilité vont nous aider à déterminer le niveau de changement minimum de rendement vendable qui rentabiliserait l'adoption de la technique de refroidissement par aspersion et cela selon le rendement initial de l'exploitation agricole. Finalement, nous considérons que le rendement moyen par hectare croît de 1 % par an.

3.1.3.2.4 Changement des coûts de production

Le changement dans les coûts économiques résultant de l'investissement inclut tous les coûts de production excluant cependant les coûts financiers et de dépréciation.

- *Les intrants de production (fertilisants, insecticides...)*

Bien que l'objectif du système de refroidissement du couvert végétal soit d'optimiser l'utilisation des différents nutriments, nous formulons l'hypothèse selon laquelle son adoption ne modifie pas les quantités des autres intrants utilisés.

- *Frais de fonctionnement du système de refroidissement*

Selon l'année considérée, il existe une variabilité relativement importante du nombre de fois où le système de refroidissement est déclenché. Afin de déterminer un nombre moyen d'épisodes par saison, les données historiques où la température maximale mesurée était d'au moins 24 °C ont été recensées pour les mois de juin, juillet et août. Ainsi, en attribuant 3 épisodes par journée, cela donne 110 épisodes de micro-aspersion par saison. De plus, à raison de 7 minutes par épisode, cela représente 12,8 heures de refroidissement par saison. Le tableau 7 résume les données utilisées.

Tableau 7. Paramètres de déclenchement du système de refroidissement.

	Seuil de déclenchement ⁹	Nombres de jours par saison	Nombres d'épisodes par jour	Durée d'aspersion par épisode
Valeur	24° Celsius	36,5	3	7 min.

- *Eau*

La consommation d'eau est nouvelle. Les coûts de l'eau sont par conséquent des coûts additionnels de la mise en œuvre du système de refroidissement. Ils ne sont cependant pas comptabilisés comme coûts variables étant donné que le producteur investit dans l'installation d'un puits.

- *Travail*

Deux types de besoin en travail sont considérés lors de l'analyse de la mise en œuvre du système de refroidissement. Tout d'abord, le démarrage du système en début de saison de production et sa fermeture à la fin de la saison vont mobiliser du temps de travail. Dans notre analyse, ce temps est considéré comme étant fixe. Nous considérons cependant que seulement 7,5 % de ce poste sont affectés au refroidissement par aspersion.

Il existe également un besoin en main d'œuvre associé au fonctionnement du système. Il est variable et est par conséquent associé au nombre de fois où le système de refroidissement est activé. Il est de 8 minutes, ce qui correspond à la durée de chaque épisode majoré d'environ 15 % pour tenir compte des différentes manipulations d'avant et d'après aspersion.

Le taux horaire appliqué est celui de l'ouvrier agricole (Statistique Canada). Nous ne tenons pas compte d'une possible charge de temps additionnel du gestionnaire lors du choix de l'implantation d'un système de refroidissement. Par ailleurs, nous considérons que toute la main d'œuvre est rémunérée. Le tableau 8 présente les données associées au travail.

Tableau 8. Besoins en travail pour le démarrage, la fermeture et le fonctionnement du système de refroidissement par aspersion.

Désignation	Démarrage et fermeture du système	Fonctionnement par épisode
Temps consacré	0,15 heure	0,13 heure
Taux horaire	11 \$	11 \$

- *Diesel*

Le coût de l'énergie est calculé en utilisant le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe. Nous suivons Dalton et coll. (2002) et majorons ce temps de 10 % afin de tenir compte de possibles erreurs d'application, de tests initiaux... Par épisode, cela représente une consommation de diesel de 2,35 litres. Le prix du diesel qui est utilisé est une moyenne des années 2008 et 2009. Nous considérons que l'approvisionnement en diesel se fait en début de saison; ce prix est donc uniforme et ne varie pas en fonction de la semaine durant laquelle le système d'irrigation a été activé. Le coût du lubrifiant utilisé dans nos calculs est un coût moyen pour les années 2008 et 2009.

⁹ Température de l'air ambiant

Frais de maintenance et de réparation

Nous suivons AAEA (2000) et Dalton et coll. (2002) et considérons les frais de maintenance et de réparation comme des frais annuels fixes. De plus, nous suivons les règles habituellement appliquées en utilisant des coefficients fixes du montant de l'investissement initial. Plusieurs coefficients sont proposés dans la littérature et nous utiliserons ceux proposés par Dalton et coll. (2002) pour le Maine. Les coefficients utilisés sont indiqués au tableau 3 (dernière colonne).

- *Assurances du système de refroidissement*

Les frais d'assurances sont estimés à 5 % de la valeur du système. Le refroidissement par aspersion ne couvre qu'une partie de ces frais étant donné que l'investissement est également utilisé à d'autres fins.

- *Coût de mise en marché*

L'étude des coûts de mise en marché s'appuie sur les données du document du CRAAQ (2007) sur le budget des fraises à jours neutres.

- *Cueillette*

Les cueilleurs de fraises sont habituellement payés sur une base forfaitaire par boîte. Selon les données du CRAAQ, cela correspond à environ 0,9 \$ par kg de fraises cueillies. Cette information a également été confirmée par des informations recueillies auprès de producteurs de fraises. Le salaire versé aux superviseurs est également intégré dans le calcul. Le salaire horaire des superviseurs est estimé à 11 \$ par heure. Les charges sociales sont estimées à 23 % de la masse salariale.

De plus, les analyses statistiques montrent que la taille des fraises augmente suite au refroidissement, ce qui réduit le temps de récolte. Cette réduction du coût du poste de main d'œuvre est estimée à 5 %.

- *Emballage*

Deux types d'emballage sont utilisés pour la mise en marché des fraises, soit des contenants en plastique de 454 g pour les ventes au détail et de 4,50 kg (12 chopines) pour les ventes de gros.

- *Mise en marché*

Le poste de mise en marché concerne le pré refroidissement de 95 % de la récolte et son transport vers les marchés. Le coût de transport utilisé est celui proposé par la grille du CRAAQ.

- *Assurance-récolte*

Les cotisations pour l'assurance-récolte sont celles payées pour l'année 2008. Le changement porte sur la quantité et la qualité des produits.

3.1.3.2.5 Changement des provisions pour dotations aux amortissements

Nous considérons un taux annuel de dépréciation linéaire pour l'ensemble de l'investissement dans le système de refroidissement. L'investissement considéré comme nouveau et servant exclusivement au refroidissement entre entièrement dans le calcul des dotations pour l'amortissement. Les dotations pour les autres dépenses entrent au prorata de l'utilisation du matériel pour l'aspersion.

3.1.3.2.6 Taux d'inflation

Le taux d'inflation annuel utilisé est de 2 %.

3.1.3.3 Résultats obtenus

3.1.3.3.1 Résultats généraux

Le tableau 9 présente les résultats de l'analyse effectuée. En année 1, le coût total additionnel de production est évalué à 1 165,21 \$ pour des revenus totaux additionnels de 5 061,02 \$. L'impact net sur la trésorerie de l'entreprise (y compris les amortissements, mais sans les paiements pour investissements) est positif et de 2 924,84 \$.

Tableau 9. Impact sur la trésorerie de l'adoption du refroidissement par aspersion (\$/ha).

	<u>Année 1</u>	<u>Année 2</u>	<u>Année 3</u>	<u>Année 4</u>	<u>Année 5</u>
Coûts de production					
<i>Intrants de production</i>	-	-	-	-	-
<i>Fonctionnement du système</i>	773,90	789,38	805,17	821,27	837,70
<i>Mise en marché</i>	27,43	27,84	27,98	28,26	28,54
<i>Main d'œuvre</i>	230,39	233,89	235,05	237,38	239,75
<i>Contenants</i>	57,29	58,44	57,89	58,44	59,03
<i>Assurance-récolte</i>	76,19	76,96	77,73	78,50	79,29
Total des coûts de production	1 165,21	1 186,50	1 203,81	1 223,85	1 244,30
Dotations aux amortissements	970,97	990,39	1 010,20	1 030,41	1 051,01
Revenus des ventes					
<i>Ventes au détail</i>	306,54	315,80	325,33	335,16	345,28
<i>Ventes de gros</i>	4 754,48	4 898,07	5 045,99	5 198,38	5 355,37
Total des revenus des ventes	5 061,02	5 213,86	5 371,32	5 533,54	5 700,65
Résultat net sur la trésorerie	2 924,84	2 036,97	3 157,31	3 279,28	3 405,33

3.1.3.3.2 Impact du mode de financement des investissements sur le résultat net de trésorerie

Le tableau 10 présente les résultats pour l'année 1 lorsque les investissements sont financés par un emprunt sans mise de fonds et avec une mise de fonds représentant 25 % de l'investissement. Les résultats nets sur la trésorerie de l'entreprise restent positifs.

Tableau 10. Impact du mode de financement de l'investissement sur la trésorerie (\$/ha).

	<u>Fonds propres</u>	<u>Emprunt</u>	<u>Emprunt</u>
Mise de fonds	100 %	0 %	25 %
Montant de l'emprunt	-	5192,54	3894,41
Taux d'intérêt	-	6,4 %	6,4 %
Durée d'amortissement de l'emprunt	-	5 ans	5 ans
Coûts de production	1 165,21	1 165,21	1 165,21
Annuités	-	1 246,13	934,60
Dotations aux amortissements	970,97	970,97	970,97
Revenus des ventes	5061,02	5 061,02	5 061,02
Résultat net sur la trésorerie	2 924,84	1 678,70	1 990,24

3.1.3.3 Impact du changement de rendement vendable sur la trésorerie

La figure 17 présente l'impact du changement de rendement vendable sur les flux de trésorerie de l'entreprise qui décide de refroidir par aspersion. Le flux est positif à partir d'un changement de rendement vendable de 3,38 % en gardant l'hypothèse selon laquelle le temps de cueillette diminue de 5 %. De plus, nous considérons que l'entreprise fait appel à un emprunt pour financer son investissement avec une mise de fonds initiale de 25 %.

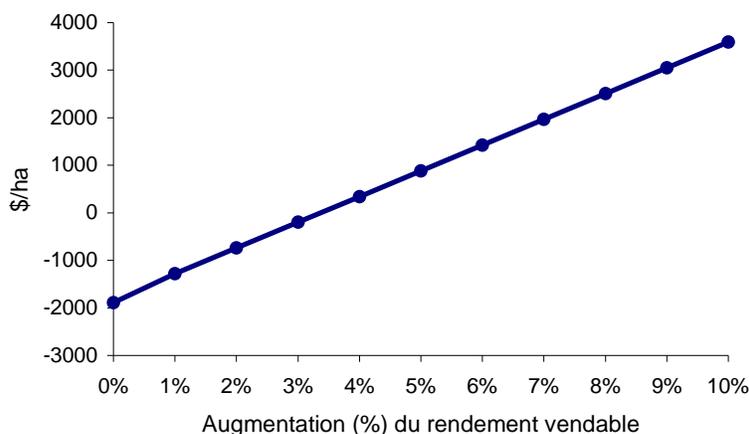


Figure 17. Évolution du flux net de trésorerie en fonction du changement de rendement vendable (avec réduction de 5 % du temps de cueillette).

Lorsqu'il n'y a pas de réduction du temps de cueillette en raison de l'augmentation de la taille des fraises, le seuil d'augmentation du rendement vendable pour des flux nets de trésorerie positifs se situe légèrement au-dessus de 5 %. La figure 18 représente la situation sans modification du temps de cueillette.

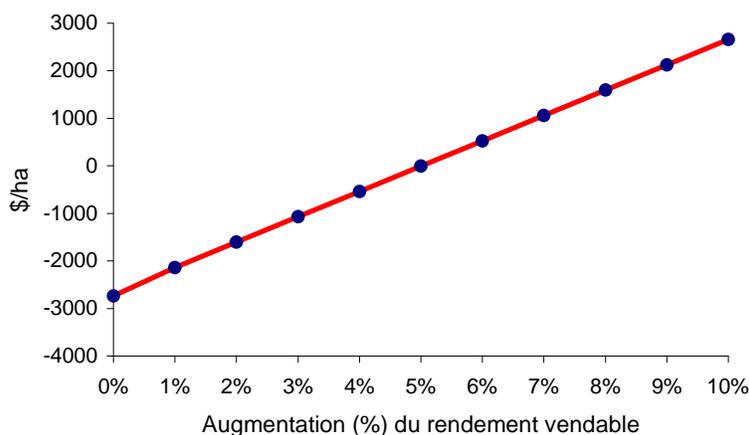


Figure 18. Évolution du flux net de trésoreries en fonction du changement de rendement vendable (sans réduction du temps de cueillette).

3.1.3.3.4 Prix de vente des fraises

À la figure 19, nous maintenons fixe le changement du rendement vendable à 3,5 % et une réduction du temps de récolte de 5 % et faisons varier le prix de vente de gros des fraises.

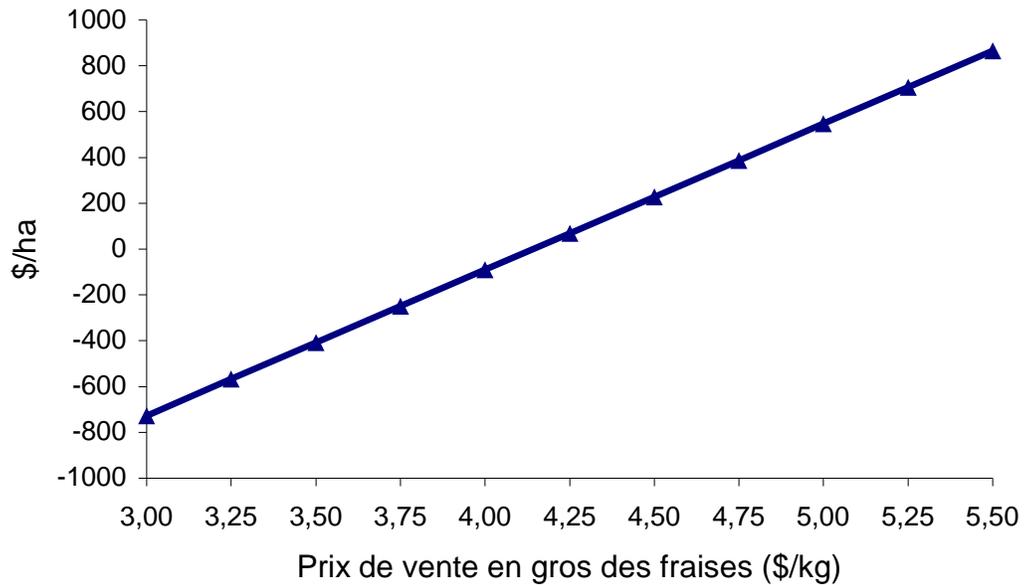


Figure 19. Évolution du flux net de trésorerie en fonction du prix de vente de gros des fraises.

3.1.3.3.5 Rendement à l'hectare

Le seuil à partir duquel le changement de rendement vendable génère des flux de trésorerie non négatifs varie en fonction du rendement initial de l'entreprise. La figure 20 présente l'évolution de ce seuil en fonction du rendement. Pour son calcul, nous utilisons le prix de gros initial (4,24 \$/kg) et le fait que l'investissement est financé à l'aide d'un emprunt et une mise de fonds propre de 25 %.

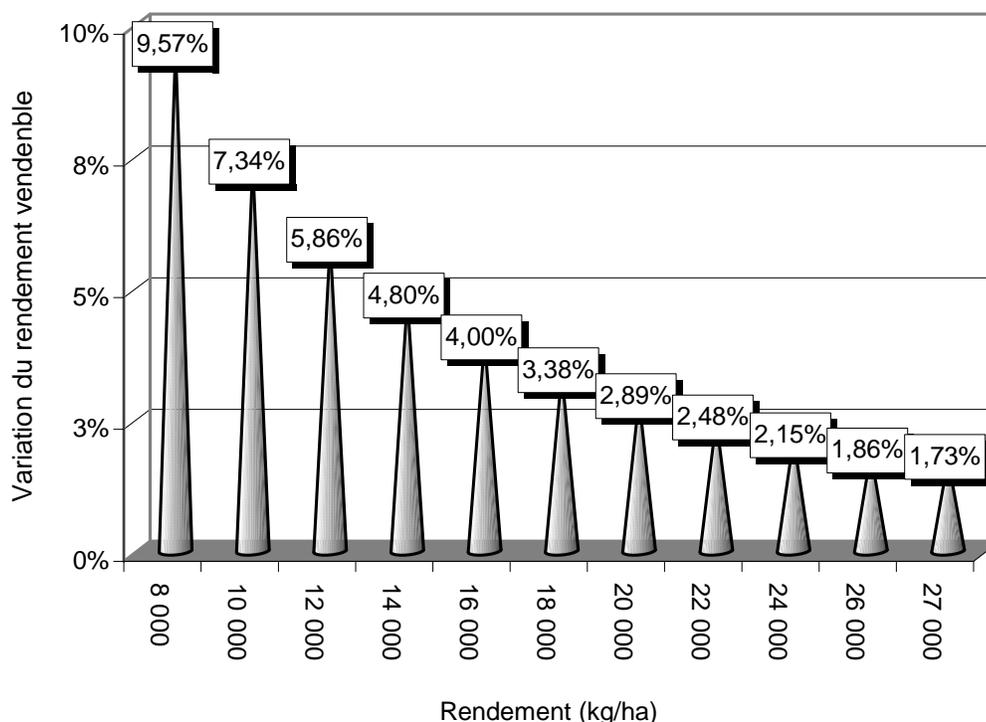


Figure 20. Seuil de changement de rendement vendable à partir duquel le flux de trésorerie devient positif.

3.1.3.3.6 Seuil de rentabilité

Finalement, nous appliquons le principe de la valeur actualisée nette pour estimer le seuil de rentabilité. Le principe est d'additionner les flux nets de trésorerie annuels moins le coût de l'investissement qui est fait en première année. Cela permet donc de voir à partir de quelle année, la somme des flux de trésorerie est supérieure aux investissements. Le taux d'actualisation utilisé est de 3 % et la diminution du temps de travail de 5 %. Le tableau 11 présente les résultats obtenus lorsque l'on maintient la croissance du rendement vendable à 6,43 % et que l'on fait varier le prix de vente des fraises. Lorsque l'on utilise les données de base, l'investissement est entièrement remboursé dès la deuxième année.

Tableau 11. Seuil (année) de rentabilité de l'investissement.

	<u>Année 1</u>	<u>Année 2</u>	<u>Année 3</u>	<u>Année 4</u>	<u>Année 5</u>
Investissement	-5 192,54				
Prix des fraises (\$/kg)	3,75				
Résultat net	2 340,58	2 395,73	2 498,11	2 600,99	2 707,35
Valeur actualisée nette	-2 622,06	-226,33	2 271,79	4 872,77	7 580,12
Prix des fraises (\$/kg)	4,24				
Résultat net	2 924,84	2 997,63	3 118,19	3 239,79	3 365,45
Valeur actualisée nette	-2 054,82	942,81	4 061,01	7 300,80	10 666,25
Prix des fraises (\$/kg)	4,75				
Résultat net	3 534,38	3 625,59	3 765,11	3 906,25	4 052,03
Valeur actualisée nette	-1 463,03	2 162,56	5 927,67	9 833,92	13 885,96

Le tableau 12 reprend le même exercice en faisant cette fois varier la croissance de rendement suite à l'adoption du refroidissement par aspersion. Lorsque le refroidissement par aspersion permet d'augmenter les rendements de 10,2 %, l'investissement dans un système de refroidissement est entièrement remboursé dès la première année. Lorsque l'augmentation de rendement n'est que de 3 %, il est à peine remboursé la cinquième année. Le seuil d'augmentation de rendement à partir duquel la valeur actualisée nette est nulle au bout de la 5^e année est de 2,88 %. En dessous de ce seuil, la réduction du temps de travail à la suite de l'augmentation de la taille des fraises ne suffit pas à justifier l'implantation du système de refroidissement des fraisiers à jours neutres.

Tableau 12. Seuil (année) de rentabilité en fonction de l'augmentation du rendement vendable.

	<u>Année 1</u>	<u>Année 2</u>	<u>Année 3</u>	<u>Année 4</u>	<u>Année 5</u>
Investissement	-5 192,54				
Croissance du rendement	3,00 %				
Résultat net	988,30	1 009,19	1 052,05	1 095,07	1 139,66
Valeur actualisée nette	-3 934,96	-2 925,77	-1 873,72	-778,64	361,02
Croissance du rendement	4,00 %				
Résultat net	1 552,91	1 588,93	1 654,45	1 720,38	1 788,60
Valeur actualisée nette	-3 386,79	-1 797,86	-143,41	1 576,97	3 365,58
Croissance du rendement	5,00 %				
Résultat net	2 117,52	2 168,68	2 256,85	2 345,69	2 437,55
Valeur actualisée nette	-2 838,62	-669,95	1 586,90	3 932,59	6 370,14
Croissance du rendement	6,00 %				
Résultat net	2 682,13	2 748,42	2 859,24	2 970,99	3 086,49
Valeur actualisée nette	-2 290,46	457,96	3 317,21	6 288,20	9 374,70
Croissance du rendement	7,00 %				
Résultat net	3 246,74	3 328,16	3 461,64	3 596,30	3 735,44
Valeur actualisée nette	-1 742,29	1 585,88	5 047,52	8 643,82	12 379,26
Croissance du rendement	10,20 %				
Résultat net	5 053,50	5 183,34	5 389,32	5 597,28	5 812,06
Valeur actualisée nette	11,85	5 195,19	10 584,51	16 181,79	21 993,85

3.1.4 Proposer une méthodologie d'utilisation de la technique de refroidissement par évaporation adaptée à la production commerciale de la fraise.

La température de l'air au niveau du couvert végétal est grandement influencée par la présence d'un paillis de plastique noir à la surface du sol. Pour un système cultural où un paillis de plastique noir est utilisé, l'heure de la journée, la direction du vent et la température de l'air ambiant peuvent donner de bonnes indications pour évaluer le moment où la température de l'air au niveau du couvert végétal peut atteindre 27 °C. Toutefois, peu importe la région ou le type de système cultural où ce genre de suivi est effectué, l'utilisation d'une sonde pour mesurer la température de l'air dans le couvert végétal s'avère très intéressante et relativement peu coûteuse, surtout si de telles sondes sont déjà utilisées pour le suivi des épisodes de gels printaniers et automnaux.

Dans les conditions où les essais ont été réalisés, 159 épisodes de micro-aspersion ont été effectués durant les essais de 2008 et 2009. De ce nombre, 90 % ont été effectués entre 11 h et 16 h. De plus, 52 % des épisodes ont eu lieu alors que le vent provenait du sud-ouest, 18 % de l'ouest et 13 % du sud. Lors des journées ensoleillées, la température de l'air dans le couvert végétal pouvait atteindre 27 °C dès que l'air ambiant atteignait 21 °C.

Chacun des épisodes de micro-aspersion est une occasion de vérifier les conditions météorologiques qui prévalaient à ce moment, qu'il s'agisse de la température et de l'humidité de l'air ambiant, de la radiation solaire ou de la vitesse et la direction du vent. Ainsi, les données accumulées ont servi à identifier des conditions météorologiques où la probabilité que la température de l'air au niveau du couvert soit d'au moins 27 °C augmente. L'analyse de ces données permet aussi d'évaluer l'efficacité des interventions (baisse de température et durée de mouillure des feuilles) pour des conditions données.

Afin de mesurer la relation entre les différentes variables, le coefficient de régression R^2 a été utilisé. Ce dernier, qui peut être exprimé en pourcentage¹⁰, mesure l'ordre de grandeur de la relation entre deux variables. Plus ce coefficient est élevé, plus la variation d'un facteur explique la variation d'un second facteur. Les relations mesurées sont présentées et discutées aux pages suivantes.

¹⁰ Il faut extraire la racine carrée du coefficient R^2 pour obtenir la correspondance en pourcentage. Par exemple, un R^2 de 0,20 équivaut à 45 %.

La diminution maximale de la température de l'air du couvert végétal (DimMTACV), soit l'écart entre la température au moment de déclencher la micro-aspersion et la température minimale mesurée par la suite, est présentée pour chacun des épisodes de micro-aspersion selon la température de l'air ambiant au même moment. Le R^2 de 0,0507 ou le coefficient de corrélation de 22,5 % est plutôt faible, mais significatif ($p = 0,0042$). Cela permet de mesurer la force de la relation entre les deux variables. Ainsi, plus la température de l'air ambiant est élevée, plus la diminution de la température de l'air dans le couvert végétal lors d'un épisode de refroidissement est importante (Figure 21).

Par exemple, l'épisode de micro-aspersion qui est pointé par la flèche à la figure suivante informe à propos de la température de l'air ambiant (29,8 °C) au moment du déclenchement du système et sur la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (3,6 °C).

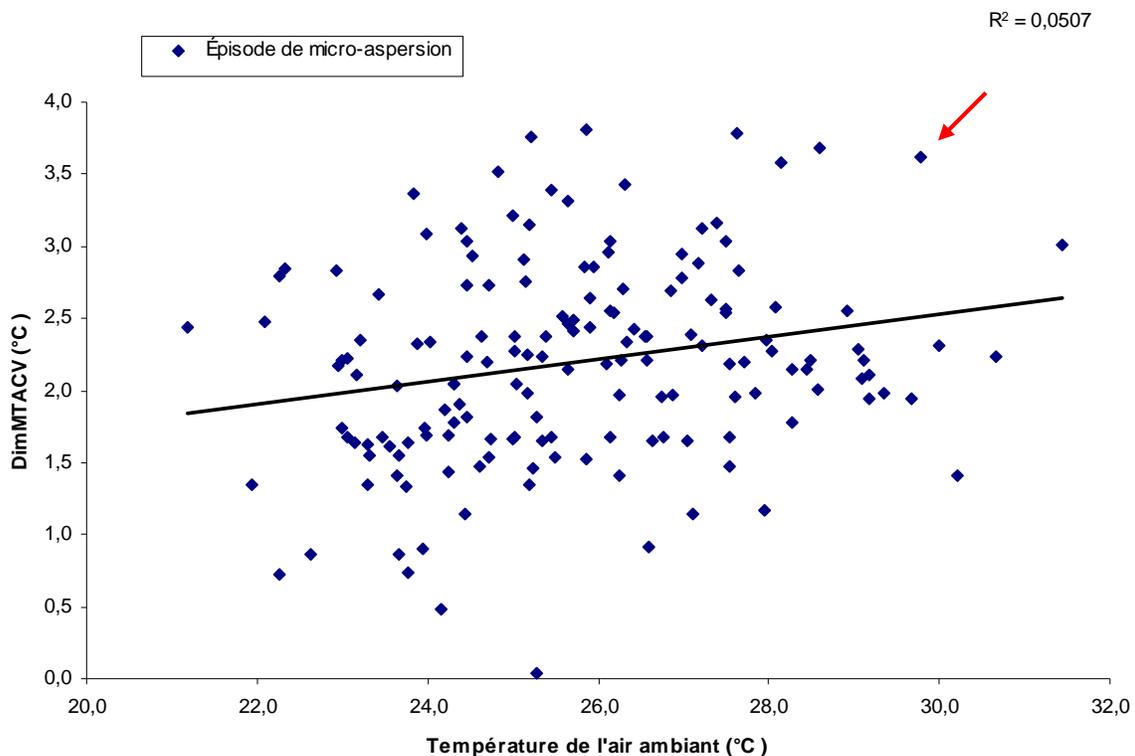


Figure 21. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et la température de l'air ambiant.

L'intensité du rayonnement solaire, mesurée avec un pyranomètre, peut être exprimée en kilojoules par mètre carré (kJ/m^2) où une valeur élevée indique un fort rayonnement. La diminution maximale de température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) mesurée lors des épisodes de refroidissement a été mise en relation avec l'intensité du rayonnement solaire (Figure 22). Tout comme pour la température de l'air ambiant, la relation entre les deux variables est faible (R^2 de 0,0233 ou coefficient de corrélation de 15 %).

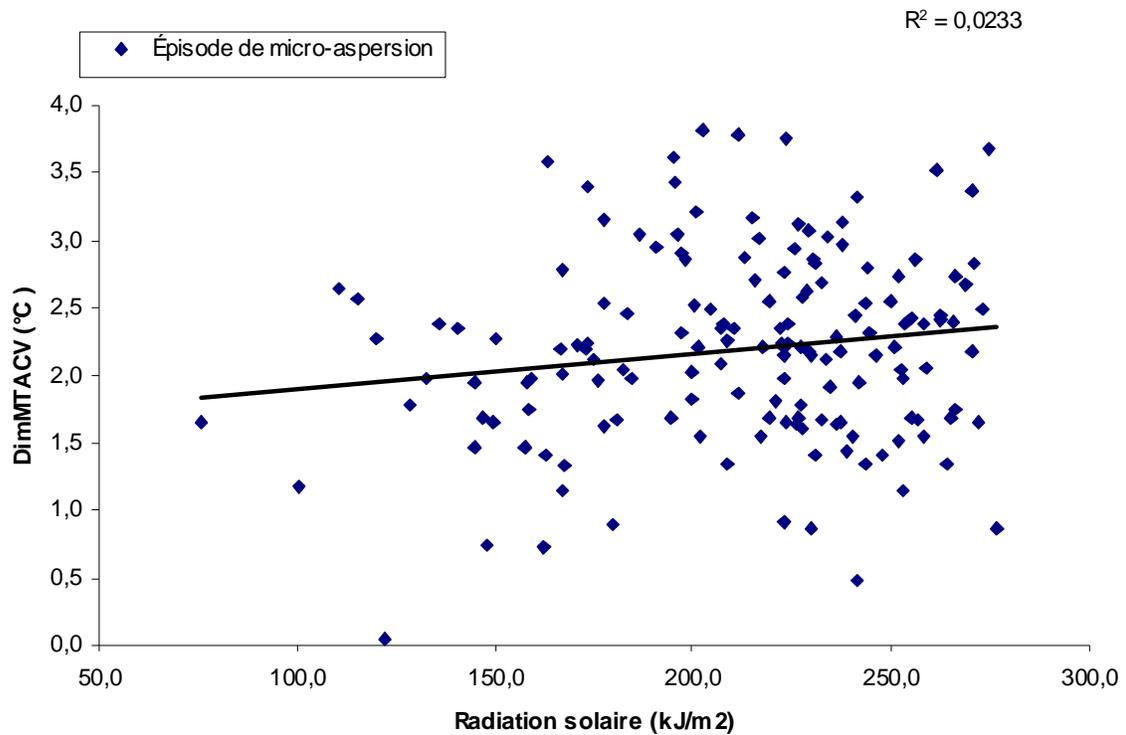


Figure 22. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et la radiation solaire.

Le différentiel maximal de température de l'air entre l'air au niveau du couvert végétal et celle de l'air ambiant au moment de déclencher une micro-aspersion a été mis en relation avec la radiance solaire au même moment (Figure 23). Le R^2 de 0,5303 ou coefficient de corrélation de 72,8 % indique une forte relation ($p < 0,0001$). Compte tenu de la consigne de déclenchement, chacun des points représente une situation où la température de l'air au niveau du couvert végétal était d'au moins 27 °C. Ainsi, ce seuil peut être atteint même lorsque les radiations solaires sont à des niveaux plus faibles (les points qui sont vers la gauche), caractéristique du début et/ou fin d'une journée ou de la présence de nuages. Toutefois, l'ampleur de la différence entre la température de l'air au niveau du couvert végétal et celle de l'air ambiant croît avec l'augmentation de la radiance (points vers la droite). Donc, plus l'intensité du soleil est importante, plus la température de l'air au niveau du couvert végétal sera supérieure à celle de l'air ambiant.

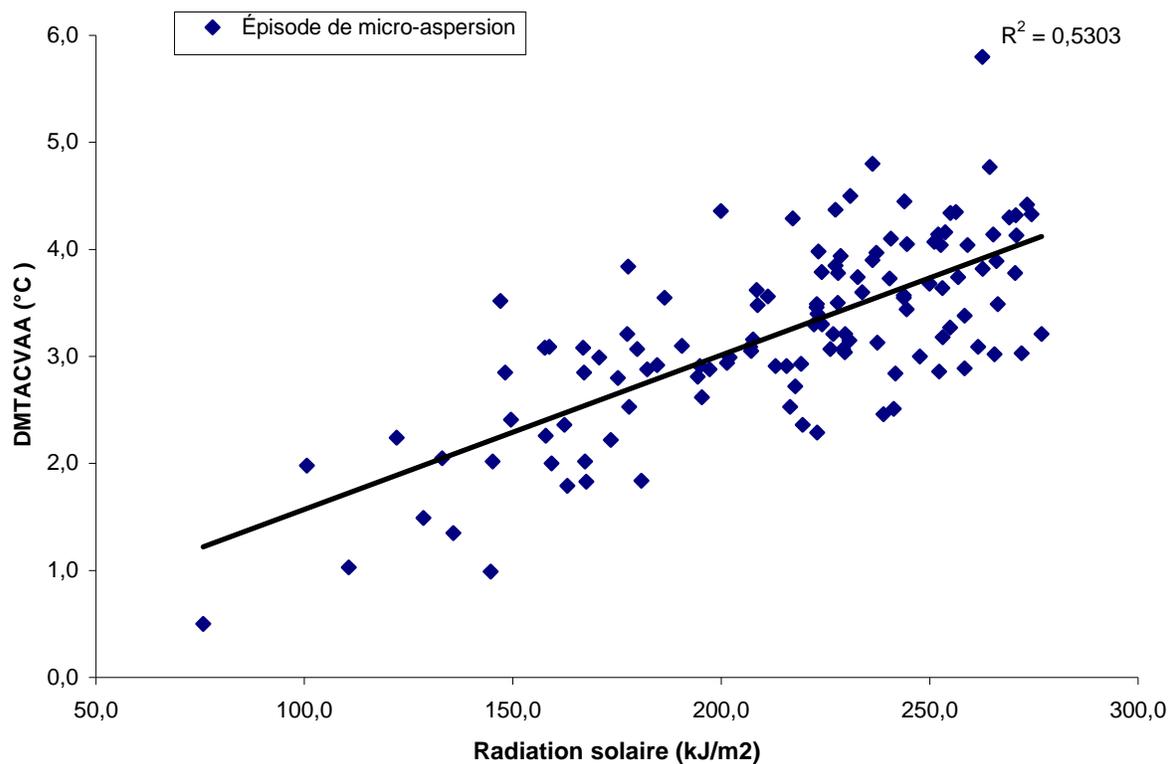


Figure 23. Relation entre le différentiel maximal de température entre l'air au niveau du couvert végétal et celle de l'air ambiant (DMTACVAA) avec la radiation solaire (total/5 min. en kJ/m^2).

Maintenant, la diminution maximale de la température de l'air du couvert végétal (DimMTACV), pour chacun des épisodes de refroidissement a été mise en relation avec l'humidité relative de l'air ambiant au même moment (Figure 24). Selon le R^2 de 0,2194 ou le coefficient de corrélation de -46,8 %, l'humidité relative expliquerait partiellement l'ampleur de la réponse au refroidissement ($p < 0,0001$). Ainsi, plus les épisodes de refroidissement sont effectués lorsque l'humidité relative de l'air est basse, plus la diminution de la température de l'air au niveau du couvert végétal est élevée.

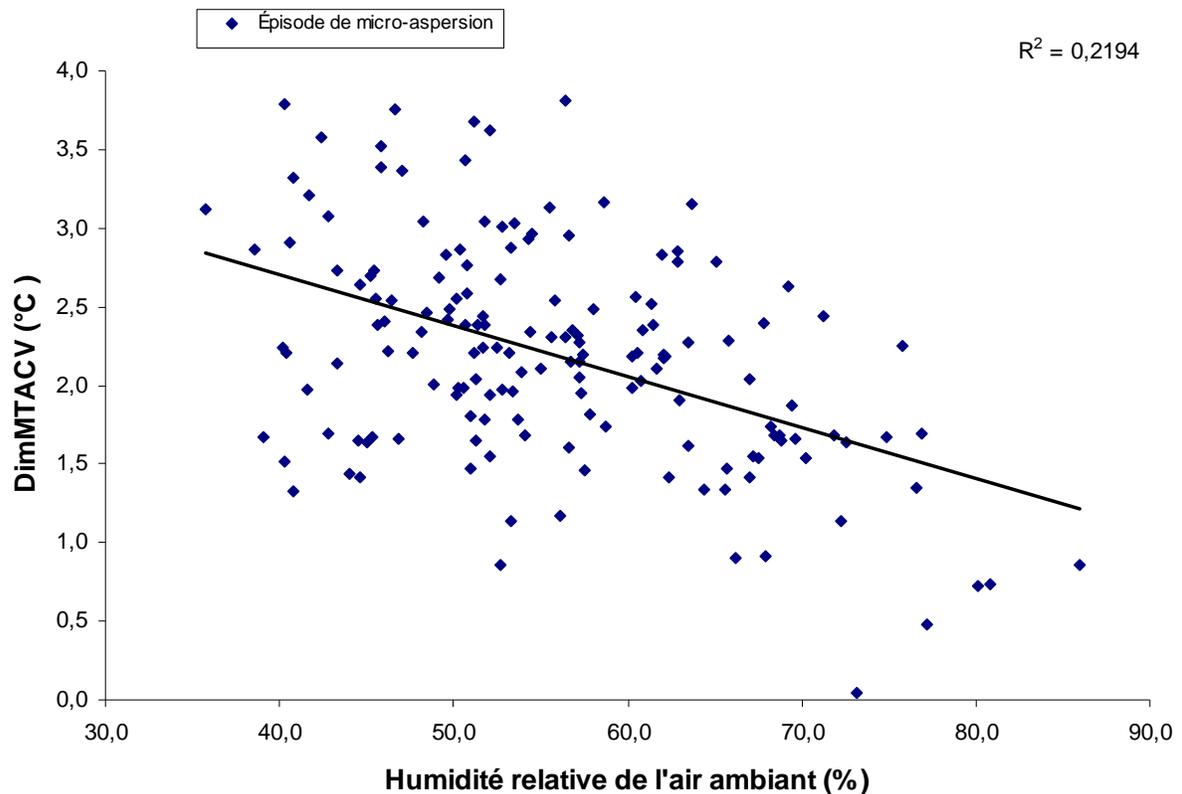


Figure 24. Relation entre la diminution maximale de la température de l'air au niveau du couvert végétal (DimMTACV) et l'humidité relative de l'air ambiant lors d'un épisode de micro-aspersion.

L'impact de la micro-aspersion sur la diminution de la température de l'air du couvert végétal peut se mesurer en termes de durée. Cette dernière est déterminée en comparant la température de l'air au niveau du couvert végétal dans les parcelles refroidies et non refroidies. Ainsi, lorsque les deux valeurs sont comparables, il est considéré qu'il n'y a plus d'effet de l'épisode et la durée est obtenue. La durée qui a été déterminée pour chacun des épisodes a été mise en relation avec la vitesse du vent à ce moment (Figure 25). Quoique la valeur du R^2 soit moyenne (0,1595 ou coefficient de corrélation de -40%), la vitesse du vent expliquerait partiellement la durée de l'effet ($p = 0,0330$).

Lorsque l'eau est en contact avec le feuillage, ce dernier transmet de l'énergie à l'eau qui s'évapore. Si le vent assèche plus rapidement le feuillage, la durée de l'effet sera raccourcie et moins d'énergie sera transférée du plant vers l'eau.

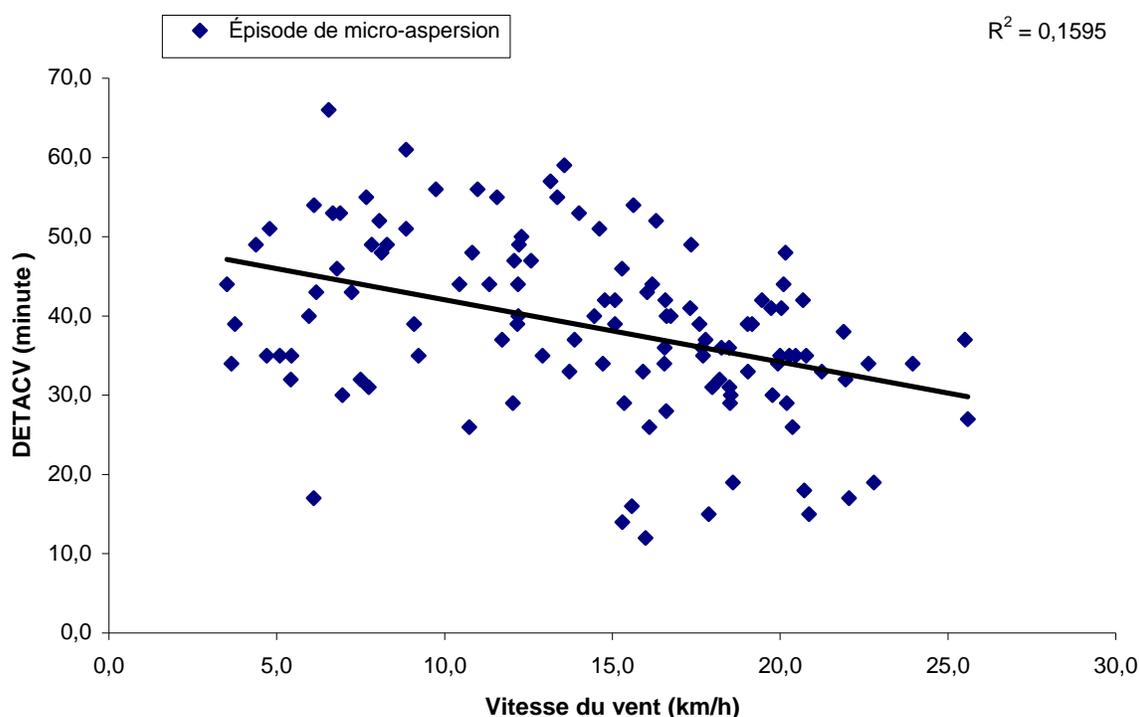


Figure 25. Relation entre la durée de l'effet sur la température de l'air au niveau du couvert végétal (DETACV) et la vitesse du vent lors d'un épisode de micro-aspersion.

3.1.4.1 Consignes de déclenchement et design du système proposé

Consignes pour le déclenchement du système de micro-aspersion :

- Journée ensoleillée;
- Avec sonde de température dans le couvert végétal : 27 °C (air du couvert végétal);
- Sans sonde de température dans le couvert végétal : 24 °C (air ambiant);
- Durée d'un épisode : 7 minutes (temps pour mouiller le feuillage);
- Période de temps minimal entre 2 épisodes : 60 minutes.

Le design du système proposé tient compte des éléments suivants :

- Coûts du système;
- Longueur du champ selon la portée (uniformité d'application) du système goutte-à-goutte (+/- 500');
- Hauteur de la rampe d'épandage à pesticides qui limite la hauteur des gicleurs;
- Faible débit et portée maximale d'un gicleur;
- Pression minimale requise au gicleur;
- Rapidité de chargement du système.

Caractéristiques du système :

- 112 gicleurs Naan 502-H;
- 3150 pieds linéaires de tuyau en polyéthylène (corlon) de ¾" de diamètre;
- 210 pieds linéaires de boyau ovale de 4" de diamètre.

Superficie couverte par le système :

- 1 hectare (2,47 acres);
- 68,6 m x 146,3 m (225' x 480'), soit 9,1 m (30') entre les gicleurs sur la ligne et entre les lignes.

En utilisant un boyau ovale de 4" de diamètre au centre du système, cela permet de diminuer le diamètre du tuyau utilisé pour connecter les gicleurs et par conséquent, de diminuer les coûts du système. La pression minimale et maximale au gicleur étant respectivement de 25 et 50 PSI, ce design permet de connecter un maximum de 8 gicleurs sur une même ligne de ¾" de diamètre. Le schéma du système est présenté à la figure suivante.

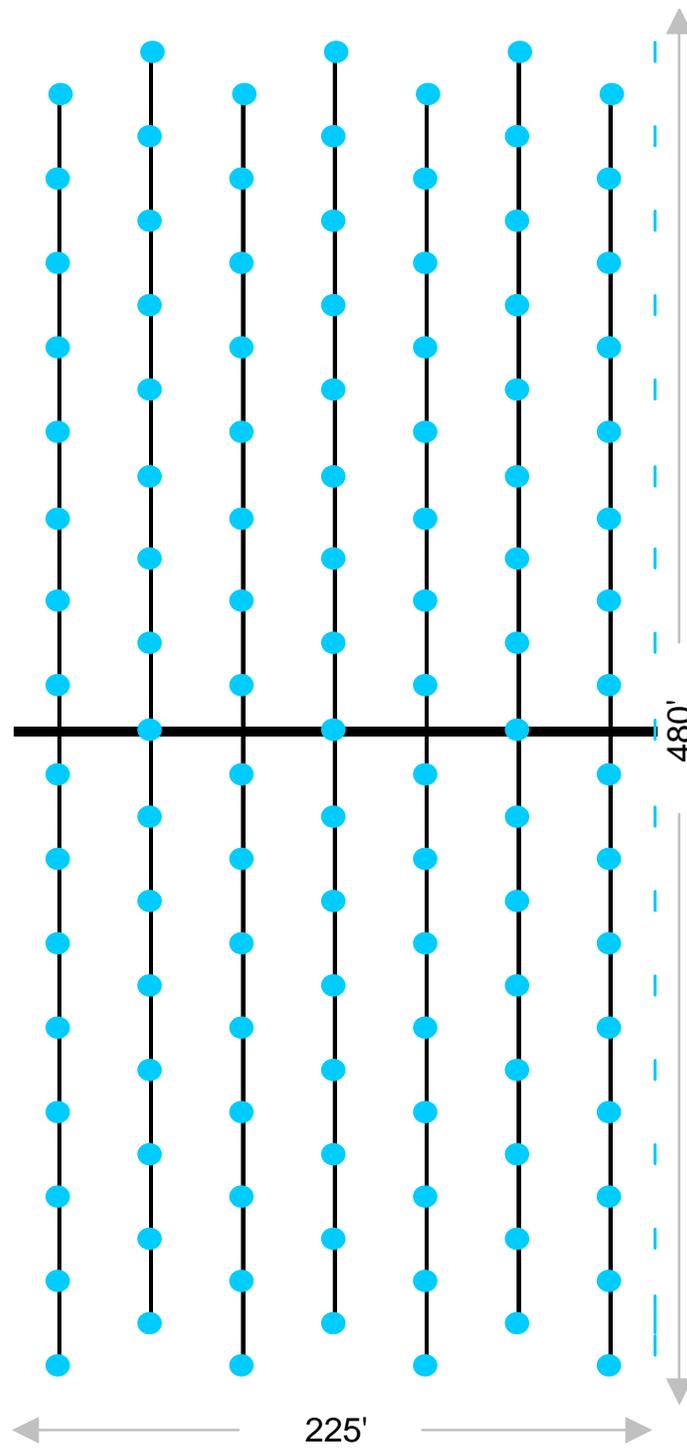


Figure 26. Design du système de micro-aspersion.

3.2 Retombées

3.2.1 Retombées sur le secteur

Réalisé en conditions de productions commerciales avec un cultivar représentatif de ce secteur de la production, ce projet de recherche a confirmé l'efficacité de la micro-aspersion pour refroidir l'air au niveau d'un couvert végétal de fraisières à jours neutres et l'impact positif sur la productivité de la culture. Ainsi, en diminuant les facteurs de stress pouvant affecter une plante, cette dernière utilise plus efficacement les ressources dont elle dispose. De plus, aucun lien entre l'incidence des maladies et les applications répétées d'eau n'a été démontré depuis les premiers essais réalisés en 2006.

Maintenant, qu'il s'agisse de la méthodologie proposée ou des différents scénarios cibles à atteindre pour la rentabiliser, le secteur dispose maintenant de suffisamment d'outils pour utiliser cette technique et en améliorer l'efficacité. Enfin, les résultats de ce projet pourront sans aucun doute profiter à d'autres initiatives de recherche connexes à ce sujet.

3.2.2 Pérennité du projet

Les différentes activités de diffusion réalisées et les documents produits favoriseront la pérennité de ce projet. Par exemple, lors d'un sondage portant sur le transfert des résultats de recherche de l'IRDA réalisé en février 2009 (plan stratégique 2006-2010) auprès des intervenants du milieu agricole, 77 % des répondants étaient au courant que l'IRDA réalisait un projet portant sur la micro-aspersion¹¹. De plus, la pérennité du projet sera pleinement assurée par la disponibilité des intervenants, travaillant dans le secteur public et privé, qui ont été impliqués dans le projet. Enfin, l'expérience et les connaissances acquises durant la réalisation de ce projet seront mises à profit dans l'élaboration d'études connexes.

¹¹ http://www.irda.qc.ca/ftbFiles/Accueil/Sondage_graphiques_version%20compl%C3%A8te.pdf

3.3 Diffusion des résultats

Activités prévues	Activités réalisées pour la période couverte par le rapport	Description (thème, titre, endroit, etc.)	Date de réalisation	Nombre de personnes rejointes	Visibilité accordée au CDAQ et à AAC (logo, mention)
Autres	Présentation générale du projet	Site Web de l'IRDA http://www.irda.qc.ca/projets/liste/245.html	Depuis juin 2008		Mention
Journée de démonstration	Journée de démonstration	Ferme Onésime Pouliot	15 septembre 2008	Environ 50	Mention
Conférence et texte de conférence	Conférence et texte de conférence « <i>Refroidissement d'un couvert végétal de fraisiers : des résultats tout chauds</i> »	Journées horticoles à Saint-Rémi	4 Décembre 2008	Environ 125	Mention
Feuillet explicatif			À venir		
Article dans revue spécialisée			À venir		

4 HISTOIRE D'UNE RÉUSSITE

Ce projet, réalisé en conditions de productions commerciales, s'articule autour des conclusions d'un premier¹² où l'objectif principal était de vérifier le potentiel de la micro-aspersion comme méthode de refroidissement d'un couvert végétal de fraisières. Cet objectif atteint, ceux du présent projet étaient orientés de façon à évaluer la faisabilité technico-économique à grande échelle de cette méthode et de consolider l'acquisition des connaissances nécessaires à la compréhension des mécanismes impliqués dans la réussite de cette technique et à l'amélioration de sa gestion.

Les résultats de ce projet ont confirmé l'efficacité de la micro-aspersion pour refroidir l'air au niveau d'un couvert végétal de fraisières à jours neutres et l'impact positif sur la productivité de la culture. De plus, aucun lien entre l'incidence des maladies et les applications répétées d'eau n'a été démontré depuis les premiers essais réalisés en 2006.

Maintenant, qu'il s'agisse de la méthodologie proposée ou des différents scénarios cibles à atteindre pour la rentabiliser, le secteur dispose maintenant de suffisamment d'outils pour utiliser cette technique et en améliorer l'efficacité. Enfin, les résultats de ce projet pourront sans aucun doute profiter à d'autres initiatives de recherche connexes à ce sujet.

¹² Projet no. 5009-6106 – « Étude d'acquisition de connaissances du pilotage de l'irrigation par tensiométrie et de la gestion du microclimat par micro-aspersion dans la production de la fraise à jours neutres à l'Île d'Orléans ».

5 PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Le plan de conciliation des dépenses sera acheminé au CDAQ sous peu.

6 CONCLUSIONS ET SUITE DU PROJET

Pour les deux années du projet, le rendement en fruits (kg/ha) est semblable, peu importe que les fraisiers aient été, ou non refroidis. Les étés pluvieux et le peu d'épisodes de chaleur intense sont probablement familiers à ce constat. En effet, près de 170 épisodes avaient été nécessaires en 2007 durant les mois de juillet et août comparativement à moins de 160 pour l'ensemble des saisons 2008 et 2009. De plus, les épisodes de chaleur sont survenus tard en saison, limitant ainsi leur impact sur le développement du plant et conséquemment sur les rendements. Durant les mois de juillet et août 2007, les journées où la température de l'air dans le couvert végétal était d'au moins 27 °C sont au nombre de 47, comparativement à 26 en 2008 et seulement 18 en 2009.

En 2008, les fraisiers non refroidis ont produit davantage de fruits ayant un poids inférieur à 6 g comparativement à ceux produits par les fraisiers refroidis. En terme de poids, cette différence peut sembler négligeable, mais en termes d'unité/ha, il y a un impact économique en ce qui a trait aux ressources investies pour récolter ces fruits. En effet, pour la période comprise entre le 16 août et le 15 septembre, l'équivalent de 98 000 fruits/ha ont été déclassés pour cette raison dans les parcelles non refroidies, soit environ 55 % de plus que dans celles refroidies. De plus, le poids moyen des fruits produits par les fraisiers refroidis était significativement plus élevé du 16 août au 31 septembre. La différence de poids pourrait être partiellement attribuable à des conditions d'humidité du sol favorables au grossissement des fruits dans les parcelles ayant reçu de la micro-aspersion. Aussi, des conditions favorables au grossissement des fruits pourraient être conséquentes aux épisodes de refroidissement, ces derniers ayant diminué l'impact possible d'un stress thermique pour le plant. Par ailleurs, depuis les premiers essais en 2006, aucun résultat ne laisse croire à un possible impact négatif de la micro-aspersion sur l'incidence des maladies.

Maintenant, en ce qui a trait à l'évaluation de la faisabilité technico-économique de la micro-aspersion, nous avons d'abord formulé l'hypothèse que l'exploitant affecte une partie de son système d'irrigation au refroidissement par aspersion, soit 7,5 % (puits, pompe et installation et système de délivrance de l'eau jusqu'au système de refroidissement). L'investissement pour le système de refroidissement, incluant la partie du système existant affectée au refroidissement, représente une valeur totale de 5 193 \$ pour 1 ha. La rentabilité de l'exercice débute lorsque l'augmentation des rendements due au refroidissement est de 3,38 % avec une diminution du temps de récolte de 5 % (dû au calibre plus élevé) et de 5 % s'il n'y a pas de diminution du temps de cueillette. Toutefois, selon le prix de vente des fruits, le seuil de rentabilité se déplace. En effet, pour une augmentation de rendement de 3,5 % et une diminution du temps de récolte de 5 %, le prix minimal de vente est de 4,12 \$/kg. De plus, selon le rendement à l'hectare de l'entreprise, l'augmentation du rendement minimal pour générer des flux de trésorerie non négatifs est de 1,73 % pour 27 000 kg/ha et de 9,57 % pour des rendements de 8 000 kg/ha.

Par ailleurs, dans les conditions où les essais ont été réalisés, 159 épisodes de micro-aspersion ont été effectués durant les essais de 2008 et 2009. De ce nombre, 90 % ont été effectués entre 11 h et 16 h. De plus, 52 % des épisodes ont eu lieu alors que le vent provenait du sud-ouest, 18 % de l'ouest et 13 % du sud. Lors des journées ensoleillées, la température de l'air dans le couvert végétal pouvait atteindre 27 °C dès que l'air ambiant atteignait 21 °C. De plus, un fort rayonnement solaire influence à la hausse l'ampleur de la différence de température de l'air dans le couvert végétal et celle de l'air ambiant. Aussi, l'efficacité du refroidissement sera négativement influencée par l'augmentation de l'humidité relative de l'air ambiant. Enfin, l'effet d'un épisode de refroidissement sera plus long lorsque la vitesse du vent est faible.

Réalisé en conditions de productions commerciales, avec un cultivar représentatif de ce secteur de la production, ce projet de recherche a confirmé l'efficacité de la micro-aspersion pour refroidir l'air au niveau d'un couvert végétal de fraisiers à jours neutres et l'impact positif sur la productivité de la culture. Ainsi, en diminuant les facteurs de stress pouvant affecter une plante, cette dernière utilise plus efficacement les ressources dont elle dispose.

Maintenant, qu'il s'agisse de la méthodologie proposée (voir 3.1.4.1) ou des différents scénarios cibles à atteindre pour la rentabiliser, le secteur dispose maintenant de suffisamment d'outils pour utiliser cette technique et en améliorer l'efficacité. Enfin, les résultats de ce projet pourront sans aucun doute profiter à d'autres initiatives de recherche connexes à ce sujet.

Les différentes activités de diffusion réalisées et les documents produits favoriseront la pérennité de ce projet. Par exemple, lors d'un sondage portant sur le transfert des résultats de recherche de l'IRDA réalisé en février 2009 (plan stratégique 2006-2010) auprès des intervenants du milieu agricole, 77 % des répondants étaient au courant que l'IRDA réalisait un projet portant sur la micro-aspersion¹³. De plus, la pérennité du projet sera pleinement assurée par la disponibilité des intervenants, travaillant dans le secteur public et privé, qui ont été impliqués dans le projet. Enfin, l'expérience et les connaissances acquises durant la réalisation de ce projet pourront contribuer à l'élaboration d'études connexes.

¹³ http://www.irda.qc.ca/ftbFiles/Accueil/Sondage_graphiques_version%20compl%C3%A8te.pdf

7 REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier MM. Guy et Daniel Pouliot de la Ferme Onésime Pouliot inc. pour leur précieuse collaboration au projet, de même que Mme Michèle Grenier de l'IRDA pour l'analyse statistique des données. Nos remerciements s'adressent également à Mme Joëlle Godbout et MM. Rémi Carrier, Jocelyn Boudrias et Mathieu Bernier-Therrien qui ont récolté des milliers de fruits et de données. Notre appréciation va aussi à l'entreprise HORTAU pour leur soutien technique et leur participation financière au projet.

Enfin, la réalisation de ce projet a été rendue possible grâce à la contribution financière du Programme pour l'avancement du secteur canadien de l'agriculture et de l'agroalimentaire (PASCAA). Ce programme d'Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) est livré par l'intermédiaire du Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ).

8 RÉFÉRENCES

AAEA [American Agricultural Economics Association]. 2000. *Commodity costs and returns estimation handbook*. A report to the AAEA task force on commodity costs and returns. Ames, Iowa. Disponible à l'adresse <http://www.economics.nrcs.usda.gov/care/Aaea/>. Site consulté le 16 décembre 2007.

Boivin, C., D. Bergeron, J. Bouchard et A. Germain. 2008. Étude d'acquisition de connaissances du pilotage de l'irrigation et de la gestion du microclimat par micro-aspersion dans la production de la fraise à jours neutres à l'Île d'Orléans. Disponible à l'adresse http://www.cdaq.qc.ca/content_Documents/5009%20Rapport%20PAECQ_Micro-aspersion%20dans%20la%20production%20de%20la%20fraise%20à%20jour%20neutre.pdf.

Carlen, C., A.M. Potel et A. Ancay. 2008. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperature, Berry production in changing climate conditions and cultivation systems. Book of abstracts, COST-Action 863. Euroberry Research: from Genomics to Sustainable Production, Quality and Health. Geisenheim, Germany, 24th to 31st of October.

CECPA [Centre d'études sur les coûts de production en agriculture]. 2007. Cahier méthodologique général pour la réalisation des études de coûts de production liés au programme d'assurance-stabilisation des revenus agricoles. Disponible à l'adresse <http://www.cecpa.qc.ca> consulté le 21 février 2009.

CQH [Conseil Québécois de l'horticulture]. 2009. Bilan de veille. L'Observatoire horticole. Récapitulation d'une année de veille. Document disponible à l'adresse <http://www.cqh.ca/documents.php?section=rapportAnnuel>. Site consulté le 9 octobre 2009.

CRAAQ [Centre de référence en agriculture et agroalimentaire du Québec]. 2008. Références économiques. Étangs et puits. Coût du matériel et de l'excavation. AGDEX 754.

CRAAQ. 2008. Références économiques. Irrigation. Coût du matériel et des systèmes. AGDEX 753.

CRAAQ. 2007. Références économiques. Fraise à jour neutre. Budget. AGDEX 232/821b.

Dalton, T.J., A. Files et D. Yarborough. 2002. Investment, ownership and operating costs of supplemental irrigation systems for Maine wild blueberries. *Technical Bulletin* 183. Maine Agricultural and Forest Experiment Station. The University of Maine.

Gulen, H. et A. Eris. 2003. Some physiological changes in strawberry (*Fragaria ananassa Camarosa*) plants under heat stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78(6):894-898.

Hancock, J.F. 2000. Strawberries, temperate fruit crops in warm climates. Amnon Erez (ed.), Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, pp. 445-455.

- Kadir, S., G. Sidhu et Al-Khatib, K. 2006. Strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) growth and productivity as affected by temperature. HortScience 41 (6), p. 1423-1430.
- Le Mière P., P. Hadley, J. Darby et N.H. Battey. 1996. The effect of temperature and photoperiod on the rate of flower initiation and the onset of dormancy in the strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). J. Hortic. Sci. 71(3):361-371.
- Pritts, M.P. et D. Handley. 1998. Strawberry production guide: For the Northeast, Midwest, and Eastern Canada, Vol. 88. NRAES. 162 pp.
- Rowley, D., B. Black et D. Drost. 2010. High Tunnel Strawberry Production, Utah State University, Cooperative Extension. Document disponible à l'adresse : http://extension.usu.edu/files/publications/publication/Horticulture_HighTunnels_2010-01pr.pdf
- Selley, R. 2001. Estimated Irrigation Costs. 2001. *Nebraska Cooperative Extension* CC 371.
- Serçe, S. et J.F. Hancock. 2005. The temperature and photoperiod regulation of flowering and runnering in the strawberries, *Fragaria chiloensis*, *F. virginiana*, and *F. x ananassa*. Scientia Hortic. 103:167-177.
- Tarara, J.M. 2000. Microclimat modification with plastic mulch. HortScience. 35(2):169-180.
- Wang, S.Y. et M.J. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. Scientia Hortic. 85:183-199.

ANNEXE 1. Photos saison 2008



Figure 27. Gicleur utilisé pour les traitements de micro-aspersion.



Figure 28. Système de micro-aspersion en opération.



Figure 29. Zone de récolte comportant 21 fraisiers.

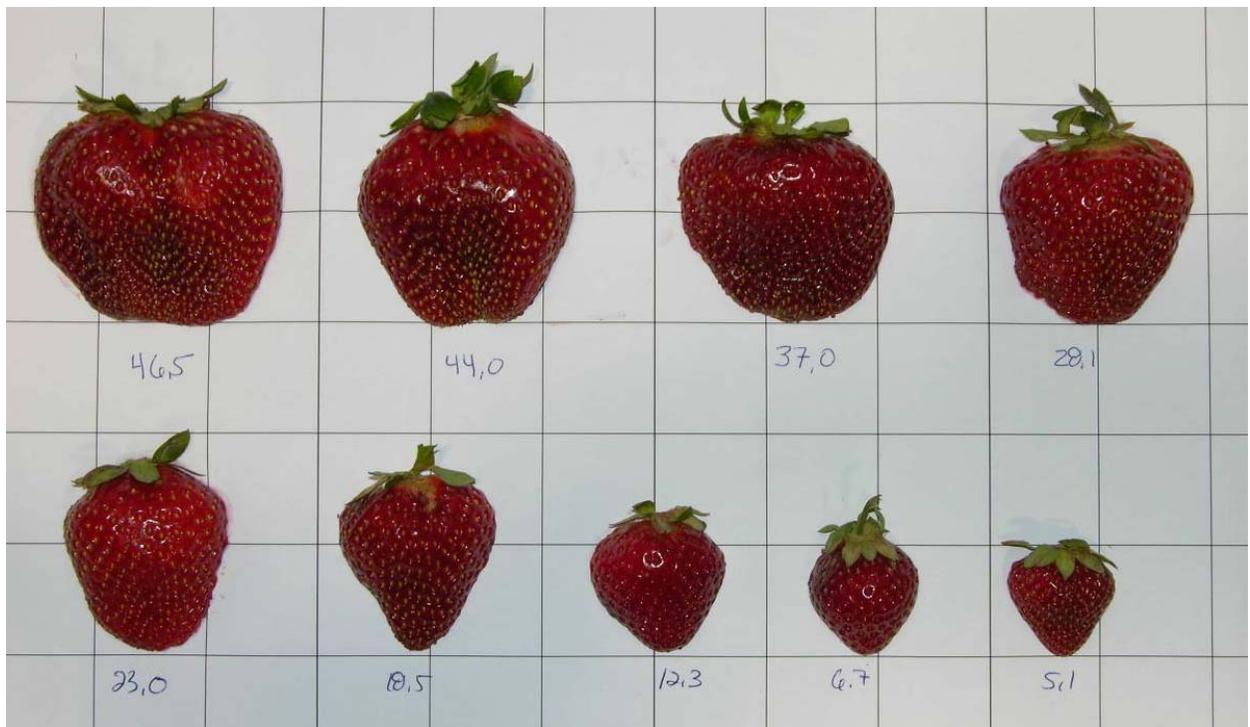
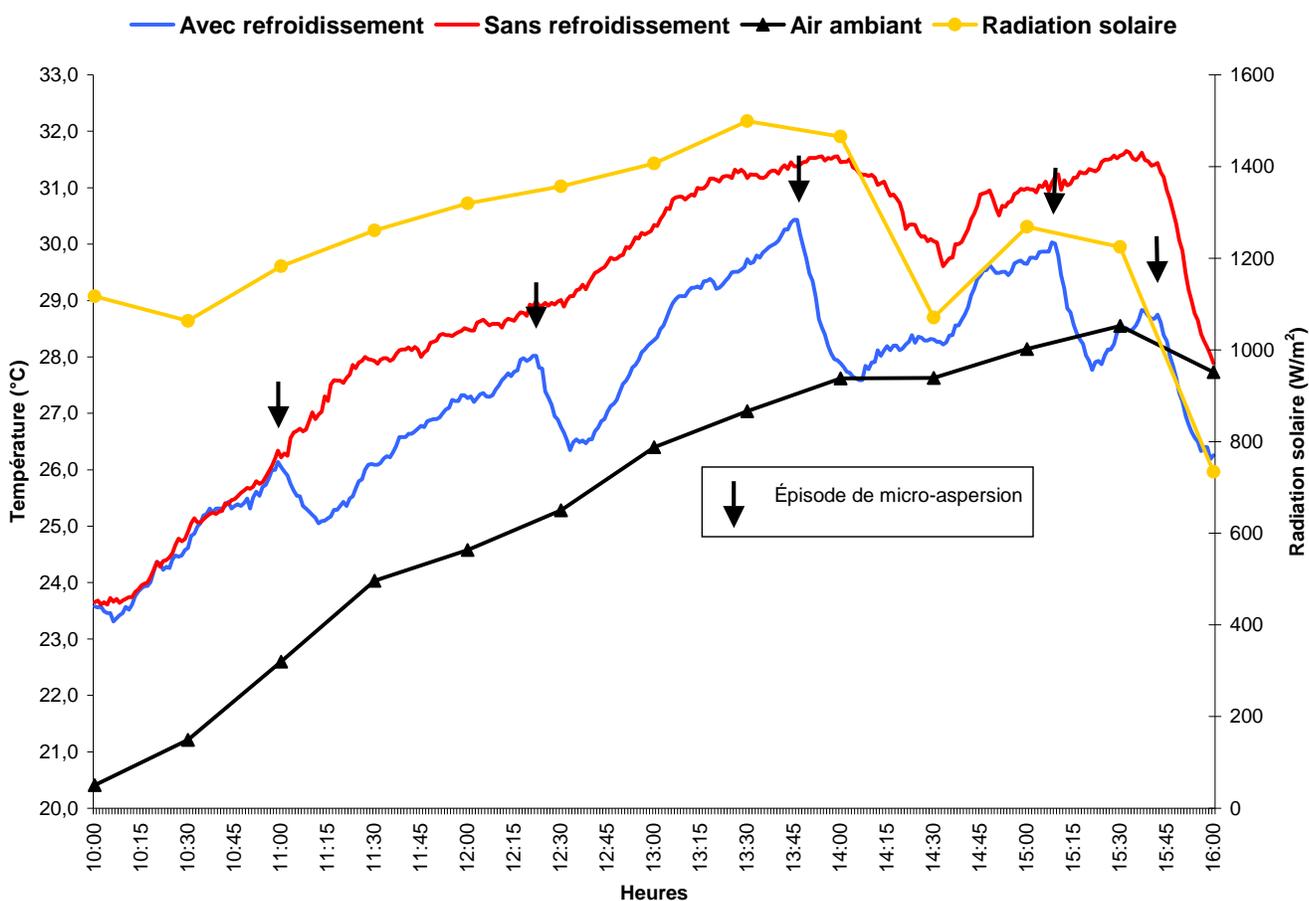


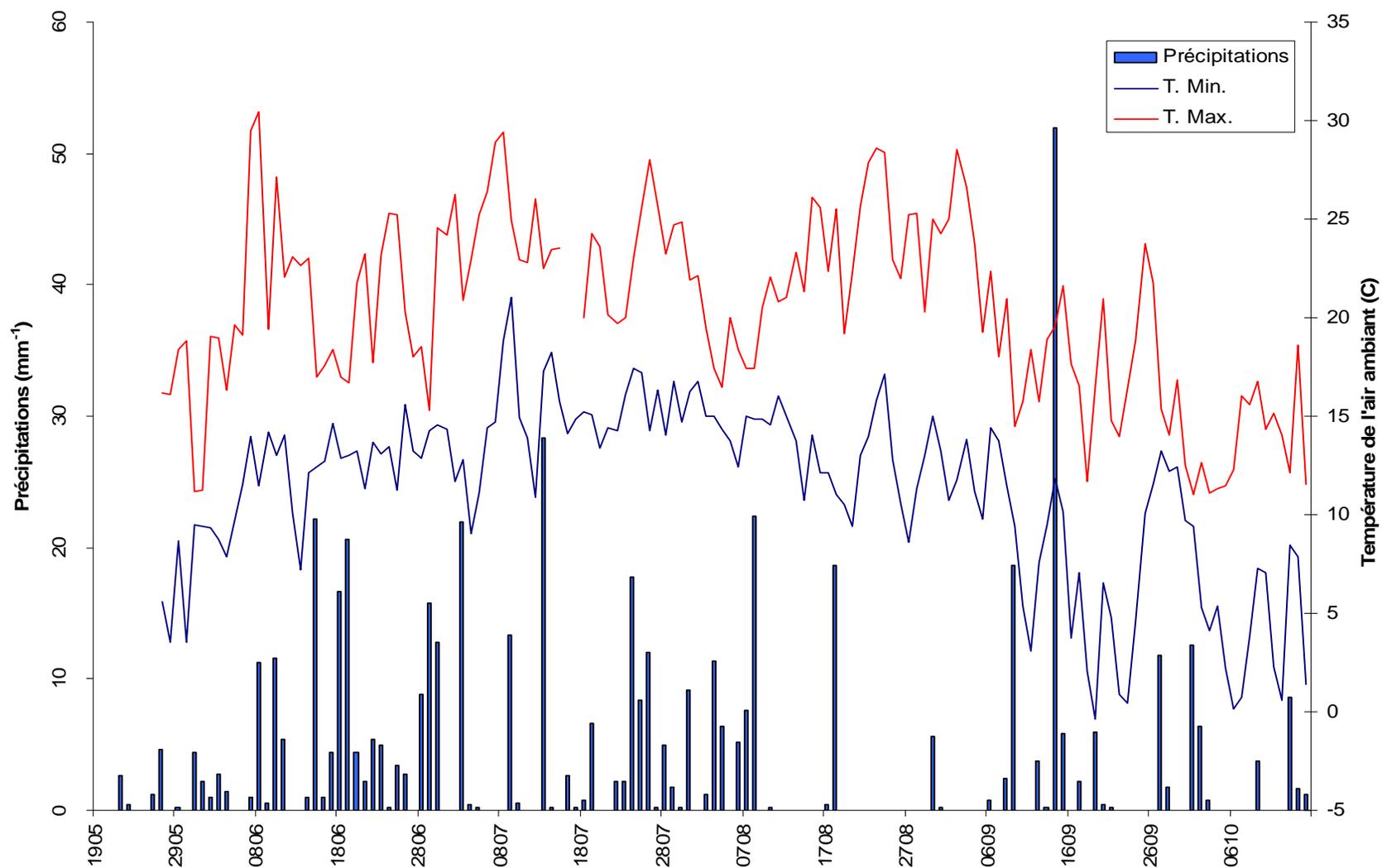
Figure 30. Fruits dont le poids varie entre 5,1 et 46,5 g (1 carré = 2,54 cm).

ANNEXE 2. Épisodes de micro-aspersion effectués le 2 septembre 2008

Durant la journée du 2 septembre 2008, le système de micro-aspersion a été actionné à 5 reprises (flèches noires). Le système a été déclenché une première fois vers 11 h alors que la température de l'air dans le couvert végétal était semblable dans les deux traitements, soit entre 26 et 27 °C (ligne rouge et ligne bleue). La température de l'air ambiant était alors près de 23 °C (ligne noire avec les triangles). Suite à l'épisode de micro-aspersion, la température de l'air dans le couvert végétal dans les parcelles refroidies était près de 25 °C, alors que celle dans les parcelles non refroidies continuait d'augmenter. La ligne jaune avec les losanges, correspond à la radiation solaire. Vers 14 h, il y a eu des passages nuageux qui sont responsables de la baisse de température mesurée au niveau du couvert végétal dans les parcelles non refroidies.



ANNEXE 3. Précipitations et températures minimales et maximales mesurées sur le site entre le 22 mai et le 14 octobre 2008.



ANNEXE 4. Littérature sur le sujet

INTRODUCTION

Tous cultivars confondus, la température affecte la culture des fraises par son influence sur la photosynthèse, le taux de croissance, la transpiration, les réactions face à la photopériode ainsi qu'à l'assèchement du sol. L'utilisation d'un paillis de plastique noir amène des variations de température dans l'environnement immédiat des fraisiers, pouvant ainsi influencer le développement de ces derniers. La connaissance des effets potentiels de la température sur cette culture est essentielle afin d'obtenir un rendement optimal par une régie de culture appropriée.

EFFET DE LA TEMPÉRATURE

- Taux de croissance

La température influence grandement les fraisiers autant pour le développement des feuilles, des fleurs que des fruits. Une température élevée peut inhiber le développement des bourgeons floraux, tel que démontré par Durner et coll. (1984), cités dans Hancock (2000). Dans des chambres à environnement contrôlé, les cultivars à jours neutres « Hecker » et « Tristar » n'ont presque pas eu de bourgeons floraux à des températures jour/nuit de 30/26°C, tandis qu'ils étaient très productifs à des températures de 18/14 °C et 22/18 °C. Selon l'OSU Extension (2006), la production de fleurs des cultivars de fraises à jours neutres sera continue entre des températures de 1,6 et 27 °C. Par contre, la formation de bourgeons floraux sera inhibée à des températures supérieures à 21,3 °C. Le Mière et coll. (1996) ont démontré que le nombre de fleurs par inflorescence du cultivar «Elsanta » (cultivar de fraises à jours courts) était influencé par la température. Le nombre de fleurs de la deuxième et de la troisième inflorescence augmente linéairement avec l'augmentation de la température, pour des températures optimales de 18,6 °C pour la deuxième inflorescence et de 19,9 °C pour la troisième inflorescence. Ainsi, la croissance des fleurs a diminué à des températures supérieures que celles précédemment mentionnées (Le Mière et coll., 1996).

Tout comme les fleurs, le développement des feuilles variera en fonction de la température. La croissance des feuilles des fraisiers est optimale à des températures entre 15 et 26 °C, dépendant des types de cultivars, selon Abdelrahman (1984), Arney (1953a, 1953b, 1954) et Darrow (1936), mentionnés dans Hancock (2000).

La croissance des fruits peut aussi être influencée par la température. Des températures diurnes supérieures à 15-17 °C, rapportées par Went (1957), sont suffisantes pour causer la diminution de la taille des fruits (Hancock, 2000). Une autre étude a plutôt démontré une température jour/nuit optimale de 18/12 °C pour la croissance des fruits, recoupant ainsi légèrement les dernières températures mentionnées (Wang et Camp, 2000). Plusieurs cultivars de fraises à jours neutres, cultivés au Maryland (États-Unis), ont vu la taille de leurs fruits diminuer de moitié en été comparativement au printemps, plus tempéré (Draper et coll., 1981; cités dans Hancock, 2000). De plus, la différence entre la température au niveau des fruits et celle de l'air ambiant peut atteindre 8 °C lors de journées ensoleillées où le mercure atteint 26,5 °C (Auster et coll., 1960; cités dans Hancock, 2000). De telles augmentations de température peuvent affecter

négativement le développement des fruits. Effectivement, Hellman et Travis (1988) ont mentionné que le poids des fruits de fraisiers à jours courts démontrait une relation négative avec des températures entre 25 et 40 °C dans un environnement contrôlé. La température du sol peut également influencer la croissance des fruits. Selon Galletta et coll. (1981), cités dans Hancock (2000), une diminution de 10 °C du sol peut occasionner des gains de 0,9 à 1,6 g par fruit pour les fraises à jours neutres.

Telle qu'observée pour la croissance des fleurs, pour des cultivars de fraises à jours neutres, la production de stolons sera continue à des températures supérieures à 1,6 °C et inférieures à 27 °C (OSU Extension, 2006).

- Conductivité stomatale et transpiration

La conductivité stomatale (g_s) indique la capacité de diffusion des gaz par les stomates de la plante et est une mesure indirecte de l'ouverture de ces dernières (Moore et coll., 1998). Une conductivité stomatale nulle signifie donc une absence de transpiration de la plante, occasionnée par la fermeture des stomates. Kadir et coll. (2006) ont démontré que des fraisiers à jours courts exposés à des températures de 40 °C jour/35 °C nuit occasionnent une diminution de g_s . Le taux de transpiration (E) des plants est directement relié à la conductivité stomatale et diminuera également avec une hausse de température, occasionnant une élévation de la température de la plante.

- Photosynthèse

La photosynthèse, qui a lieu dans les chloroplastes, permet aux végétaux de produire les sucres nécessaires à leur développement par l'utilisation de gaz carbonique (CO₂), d'eau et d'énergie lumineuse (Moore et coll., 1998). Une étude en chambre de croissance menée par Gulen et Eris (2003) s'est intéressée à certains changements physiologiques pour le cultivar « Camarosa » provoqués par des stress thermiques à chaleurs élevées. Les températures utilisées (30, 35, 40 et 45 °C) ont permis de démontrer une baisse significative du contenu en chlorophylle des feuilles (Gulen et Eris, 2003). La chlorophylle est un pigment responsable du captage de l'énergie lumineuse, nécessaire à la photosynthèse (Moore et coll., 1998). Cette diminution de chlorophylle pourrait donc influencer à la baisse le taux de photosynthèse.

Des résultats sur l'influence de la température envers la photosynthèse ont été présentés par Carlen et coll. (2008). Une culture de fraises (cultivar non mentionné) en champ, sous tunnel de plastique, a été exposée à la saturation lumineuse. À cette saturation, la photosynthèse nette (P_{net}) des feuilles croît avec l'augmentation de température et atteint son maximum à 30 °C. Cependant, si la température excède 30 °C, la P_{net} diminue. Par contre, les auteurs mentionnent que malgré une diminution de la P_{net} , même à 40 °C, cette dernière est quand même considérable. Ces résultats indiquent que les feuilles des plants de fraises semblent être adaptées à un environnement avec température élevée.

- Photopériode

La température peut également modifier l'influence que la photopériode a sur les fraisiers. Selon l'étude menée en champ par Durner et coll. (1984), les cultivars de fraisiers à jours neutres démontrent une faible production florale échelonnée du milieu de l'été au début de l'automne. Ces derniers avancent l'hypothèse qu'une photopériode longue, retrouvée avec les longs jours de l'été, combinée à des températures élevées, diminue le développement des fleurs de fraises à jours neutres. Ils ont démontré que les cultivars « Hecker » et « Tristar » sont insensibles à la photopériode pour une température constante de 21°C, mais qu'ils perdent cette insensibilité à des températures jour/nuit de 22/18 °C et plus.

Heide (1977) a mené une étude sur les effets des interactions de la température et de la photopériode affectant la croissance et la floraison de plusieurs cultivars de fraises. Cette étude, conduite en environnement contrôlé, utilise des photopériodes longues (10, 12, 14, 16 et 24 heures), représentatives de la Norvège, et des températures de 12, 18 et 24 °C. Les résultats ont indiqué une relation significative prononcée entre l'interaction de la photopériode et de la température sur l'initiation florale.

- Croissance racinaire

Pour deux cultivars de fraisiers à jours courts, « Earliglow » et « Kent », Wang et Camp (2000) ont démontré que la température jour/nuit optimale pour la croissance des racines, représentée par l'accumulation d'amidon dans ces dernières, était de 18/12 °C à l'intérieur d'une serre. Toujours en accord avec ces résultats, une étude de Le Mière et coll. (1996) a pu démontrer qu'avec des plants du cultivar « Elsanta », l'accumulation d'amidon par gramme de poids frais de racines était négativement corrélée avec l'augmentation de la température.

RÉSISTANCE À LA CHALEUR SELON LE CULTIVAR

Une étude sur la croissance et le rendement, influencés par la température des cultivars de fraisiers à jours courts « Chandler' » et « Sweet Charlie », a été effectuée par Kadir et coll. (2006). En comparant le taux d'assimilation de CO₂ (A), l'étude a conclu que le cultivar « Chandler » était plus résistant à la chaleur que le cultivar « Sweet Charlie » pour avoir conservé une valeur A plus importante que ce dernier.

Une comparaison entre deux cultivars de fraisiers nippons, en fonction de deux traitements de chaleur, a été effectuée pendant deux années (Ledesma et coll., 2008). Les cultivars « Nyoho » et « Toyonoka » ont été soumis aux températures jour/nuit de 23/18 et 30/25 °C. L'augmentation de température a fait diminuer significativement le nombre d'inflorescences, de fleurs et de fruits pour les 2 cultivars, mais les effets de stress occasionnés par la température sur le développement des fruits n'ont été évidents que pour le cultivar « Toyonoka » (Ledesma coll., 2008).

Serçe et Hancock (2005) ont comparé plusieurs cultivars de fraisiers à jours neutres entre eux par rapport à leur tolérance à la chaleur. De tous les génotypes étudiés, « Fort Laramie » semble être le plus tolérant aux températures élevées en fonction de la floraison. De plus, il est le seul génotype à avoir produit plus de fleurs à une température de 30 °C qu'à 18 °C (Serçe et Hancock, 2005).

INFLUENCE DU PAILLIS DE PLASTIQUE DE COULEUR NOIRE SUR LE MICROCLIMAT

Initialement, l'utilisation de ce type de paillis visait à contrôler les populations de mauvaises herbes entrant en compétition avec les fraisiers. Cependant, cette pratique s'est révélée influencer la croissance de la culture principale en modifiant la température du sol et du couvert végétal.

Les effets provoqués par l'utilisation d'un paillis, sur l'environnement aérien d'une culture, sont occasionnés par les propriétés optiques de ce dernier et des surfaces environnantes (Tarara, 2000). La température du paillis noir peut être jusqu'à 20 °C supérieure à la température de l'air 2,5 cm au-dessus de ce dernier. De plus, une étude de Wien et coll. (1993) a mesuré une température moyenne journalière, au-dessus d'un paillis de plastique noir, supérieure de 5 °C comparativement à celle mesurée au-dessus d'un sol nu (Tarara, 2000). Ces exemples démontrent qu'un paillis de plastique noir contribue à transmettre une quantité significative de chaleur sensible à l'environnement aérien d'une culture (Tarara, 2000). Ainsi, les plants cultivés sur paillis de plastique noir auront une transpiration plus importante que ceux cultivés sur un sol nu, à cause des importantes valeurs d'énergie transmise par convection (Tarara, 2000).

Dans le même ordre d'idées, les conclusions d'une étude de Medina (2008) mentionnent que l'utilisation des paillis de plastique de couleur noire est la plus adéquate pour la culture des fraises au champ. Leur utilisation occasionne un réchauffement du sol et de l'air n'occasionnant cependant pas de stress thermique aux fraisiers.

DISCUSSION

Pour tous les cultivars impliqués, la température affecte la culture des fraises par son influence sur la photosynthèse, le taux de croissance, la transpiration et les réactions face à la photopériode. Les différents articles consultés ont démontré cette influence en présentant généralement des résultats semblables : les températures supérieures à 30 °C sont néfastes à la production de fraises. Des températures élevées, de l'ordre de 30 à 40 °C, sont suffisantes pour faire chuter la conductivité stomatale (g_s) et, par le fait même, la transpiration (E) (Kadir et coll., 2006). Il en résultera alors une augmentation de la température du plant. La photosynthèse, quant à elle, est également perturbée à des températures élevées. Au-delà de 30 °C, température à laquelle la photosynthèse nette (P_{net}) est maximale (Carlen et coll., 2008), la concentration de chlorophylle diminue ainsi que l'activité photosynthétique (Carlen et coll., 2008; Gulen et Eris, 2003). La croissance des fraisiers est également affectée par des températures élevées du même ordre (Kadir et coll., 2006; Wang et Camp, 2000). La croissance des racines sera optimale à des températures plus faibles, mais l'accumulation d'amidon par gramme de poids frais de racines est négativement corrélée avec l'augmentation de la température (Le Mière et coll., 1996). De plus, les fruits sont plus sensibles aux températures élevées que les autres parties du plant (Hancock, 2000; Wang et Camp, 2000).

La température affecte les fraisiers, mais pas au même niveau pour tous les cultivars. En consultant plusieurs publications scientifiques, il semble difficile de comparer la résistance à la chaleur de différents cultivars. Les différentes études utilisent des traitements thermiques et des conditions environnementales différentes rendant les comparaisons entre les cultivars très

limitées. Selon l'étude de Serge et Hancock (2005), le cultivar de fraisières à jours neutres « Fort Laramie » est le plus résistant à la chaleur.

L'utilisation de paillis de plastique de couleur noire aura un effet sur la croissance des plants de fraises. Ce dernier contribue à transmettre une quantité significative de chaleur sensible à l'environnement aérien d'une culture, engendrant ainsi une transpiration plus importante que celle retrouvée pour une culture sur sol nu, occasionnée par les valeurs importantes d'énergie transmise par convection (Tarara, 2000). Les fraisières bénéficieront d'une augmentation plus rapide de la température de leur microclimat, accélérant leur croissance en début de saison, mais qui risque de ralentir lors des journées à haute température. De plus, une transpiration accrue fera croître les besoins en irrigation.

CONCLUSION

Une grande quantité d'informations relatives aux paramètres optimaux de croissance des fraisières existe. Cependant, il est difficile de comparer les résultats des différentes études étant donné les grandes variations concernant les traitements et les conditions environnementales utilisés. La majorité des études consultées ont réalisé leurs essais en cabinets de croissance, dans lesquels les températures, photopériodes, taux d'humidité et régimes d'irrigation sont constants. Il faut donc considérer ce fait avant de vouloir transposer les résultats de ces études à une culture en champ. Parmi les articles consultés, une minorité traitait des cultivars de fraisières à jours neutres. Davantage d'études devraient être entreprises afin d'obtenir de plus amples informations sur ce type de fraisières, et plus spécifiquement sur le cultivar « Seascape », majoritairement utilisé au Québec.

RÉFÉRENCES

- Carlen, C., A.M. Potel et A. Ancay. 2008. Photosynthetic response of strawberry leaves to changing temperature, Berry production in changing climate conditions and cultivation systems. Book of abstracts, COST-Action 863. Euroberry Research: from Genomics to Sustainable Production, Quality and Health. Geisenheim, Germany, 24th to 31st of October.
- Durner, E.F., J.A. Barden, D.G. Himelrick et E.B. Poling. 1984. Photoperiod and temperature effects on flower and runner development in day-neutral, junebearing, and everbearing strawberries. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 109(3):396-400.
- Gulen, H. et E. Atilla. 2003. Some physiological changes in strawberry (*Fragaria ananassa Camarosa*) plants under heat stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 78(6):894-898.
- Hancock, J.F. 2000. Strawberries, temperate fruit crops in warm climates. Amnon Erez (ed.), Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, pp. 445-455.
- Heide, O.M. 1977. Photoperiod and temperature interactions in growth and flowering of strawberry. Physiol. Plant. 40:21-26.

- Hellman, E.W. et J.D. Travis. 1988. Growth inhibition of strawberry at high temperatures, 88-409-J, Kansas Agricultural Experiment Station.
- Ledesma, N.A., M. Nakata et N. Sugiyama. 2008. Effect of high temperature stress on the reproductive growth of strawberry cvs. Nyoho and Toyonoka. *Scientia Hort.* 116:186-193.
- Le Mière P., P. Hadley, J. Darby et N.H. Battey. 1996. The effect of temperature and photoperiod on the rate of flower initiation and the onset of dormancy in the strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *J. Hortic. Sci.* 71(3):361-371.
- Medina, Y. 2008. Influence de différents paillis de plastique sur le microclimat, l'activité photosynthétique, la productivité et la qualité des fruits de fraisiers (var. Seascape) cultivés sous grands tunnels. Mémoire de maîtrise, Université Laval.
- Moore, R., W.D. Clark et D.S. Vodopich. 1998. Botany, second edition, WCB/McGraw-Hill.
- Serçe, S. et J.F. Hancock. 2005. The temperature and photoperiod regulation of flowering and runnering in the strawberries, *Fragaria chiloensis*, *F. virginiana*, and *F. x ananassa*. *Scientia Hort.* 103:167-177.
- Tarara, J.M. 2000. Microclimat modification with plastic mulch. *HortScience.* 35(2):169-180.
- The Ohio State University (OSU) Extension. 2006. Midwest strawberry production guide. Bulletin 926, The Ohio State University.
- Wang, S.Y. et J.M. Camp. 2000. Temperatures after bloom affect plant growth and fruit quality of strawberry. *Scientia Hort.* 85:183-199.