



Effet de la gestion dynamique du climat sur la consommation d'énergie et la production d'annuelles en serres ornementales

Rapport d'étape

Projet PSIH11-1636 réalisé dans le cadre du Programme de soutien à l'innovation horticole du ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec

Rédigé par :

Émilie Lemaire, M.Sc., agr., chargée de projets
Suzanne Simard, B. Sc., assistante aux chargés de projets



Avec la collaboration de :

Claudia Berger (SPSQ)
Marco Girouard (CIDES)

Le 15 mars 2013

**Cette recherche a été réalisée grâce à une aide financière accordée dans le cadre du
Programme de soutien à l'innovation horticole du ministère de l'Agriculture, des
Pêcheries et de l'Alimentation**

**Ministère
de l'Agriculture,
des Pêcheries
et de l'Alimentation**

Québec 

Table des matières

TABLE DES MATIÈRES.....	3
LISTE DES TABLEAUX	4
1 DESCRIPTION DU PROJET	5
1.1 OBJECTIF	5
2 MATÉRIEL ET MÉTHODES	5
2.1 DESCRIPTION DES SERRES	5
2.1.1 <i>Les Serres et Jardins Girouard inc.</i>	6
2.1.2 <i>Les Serres René Fontaine inc.</i>	6
2.2 MATÉRIEL VÉGÉTAL ET DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL	6
2.3 BILAN LUMINEUX.....	7
2.4 GESTION DU CLIMAT	7
<i>Température de base</i>	7
2.4.1 <i>DIP</i>	8
2.4.2 <i>Intensité lumineuse</i>	8
2.4.3 <i>Influence du gain de chaleur</i>	8
2.5 BILAN ÉNERGÉTIQUE	8
2.6 PRISE DE DONNÉES.....	8
2.6.1 <i>Taille des plants</i>	9
2.6.2 <i>Longueur des tiges et entre-nœuds</i>	9
2.6.3 <i>Production de fleurs</i>	9
2.7 ANALYSES STATISTIQUES.....	9
3 RÉSULTATS PRÉLIMINAIRES.....	10
3.1 BILAN LUMINEUX.....	10
3.2 HAUTEUR DE PLANT.....	11
3.3 LARGEUR DE PLANTS.....	13
3.4 LONGUEUR DES TIGES ET ENTRE-NOEUDS	15
3.5 PRODUCTION DE FLEURS	16
3.6 INCIDENCE DES MALADIES FONGIQUES ET DES RAVAGEURS.....	17
3.7 BILAN ÉNERGÉTIQUE	17
4 CONCLUSIONS ET SUITE DU PROJET	18
REMERCIEMENTS.....	19
ANNEXE 1 : GRAPHIQUES ET ÉQUATIONS DU BILAN LUMINEUX CHEZ LES SERRES ET JARDINS GIROUARD	20
ANNEXE 2 : GRAPHIQUES ET ÉQUATIONS DU BILAN LUMINEUX CHEZ LES SERRES RENÉ FONTAINE	21
ANNEXE 3 : DÉTAILS DU BILAN ÉNERGÉTIQUE RÉALISÉ CHEZ LES SERRES ET JARDINS GIROUARD	22

Liste des tableaux

Tableau 1 Cultivars d'impatiens Nouvelle-Guinée, de géranium zonal et de calibrachoa utilisés pour le projet	6
Tableau 2 Taux de transmission de la lumière dans les serres des deux producteurs.....	10
Tableau 3 Hauteur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine.	11
Tableau 4 Hauteur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.	12
Tableau 5 Largeur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine.	13
Tableau 6 Largeur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.	14
Tableau 7 Longueur de la plus longue tige, nombre d'entre-nœuds et distance moyenne entre les nœuds le 11 mai en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine	15
Tableau 8 Longueur de la plus longue tige, nombre d'entre-nœuds et distance moyenne entre les nœuds le 16 mai en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.	16

1 Description du projet

La production de plantes annuelles est une des productions les plus énergivores au Québec. Le chauffage des serres ornementales peut représenter jusqu'à 30 % des charges d'exploitation et les coûts d'énergie proviennent principalement des combustibles consommés. Des solutions ont déjà été proposées pour économiser de l'énergie (toile thermique, emploi de matériaux plus isolants, utilisation de sources d'énergie alternatives), mais ces techniques ne sont pas accessibles à tous. Le présent projet tente donc de mettre à l'essai une approche qui utilise la gestion dynamique du climat plutôt que la gestion traditionnelle du climat en serre. Cette façon de faire optimise les conditions de croissance de la plante en fonction des conditions climatiques extérieures, tout en permettant de produire des plantes de haute qualité. Les contrôles de température y sont alors moins statiques qu'en gestion climatique traditionnelle. A titre d'exemple, quand les conditions lumineuses ne sont pas optimales pour la photosynthèse, alors la température de la serre est réduite. D'une durée de 2 ans, soit de l'hiver 2012 à l'hiver 2014, ce projet vise à permettre des économies énergétiques sans affecter la qualité des plantes produites ni le temps de production.

1.1 Objectif

L'objectif principal du projet est de mesurer les économies d'énergie réalisées en gestion dynamique du climat ainsi que d'évaluer la qualité des plantes annuelles produites et la durée de leur cycle de production sous ce mode de gestion.

Les objectifs spécifiques du projet sont :

1. de comparer la consommation d'énergie d'une gestion traditionnelle à celle d'une gestion dynamique du climat;
2. d'évaluer l'effet de la gestion dynamique du climat sur la croissance des plantes et sur le cycle de production;
3. de comparer la qualité des regroupements de plantes et leur moment de vente avec l'utilisation de la gestion dynamique du climat;
4. d'évaluer l'incidence des maladies fongiques sur les regroupements de végétaux produits en gestion dynamique du climat;
5. d'évaluer l'incidence des ravageurs à l'intérieur des regroupements de végétaux produits en gestion dynamique;
6. de comparer les besoins d'application de régulateurs de croissance selon le type de gestion du climat (traditionnelle vs dynamique).

2 Matériel et méthodes

2.1 Description des serres

Le projet a été réalisé dans deux serres identiques chez deux producteurs, soit chez Les Serres et Jardins Girouard en Montérégie et Les Serres René Fontaine dans le Centre du Québec.

2.1.1 Les Serres et Jardins Girouard inc.

L'essai de gestion du climat en 2012 s'est déroulé dans la serre 11 en gestion conventionnelle et la serre 12 en gestion dynamique. Les deux serres sont des tunnels individuels de 30 pieds de largeur par 145 pieds de longueur recouverts avec un double polyéthylène soufflé. Les polyéthylènes de la serre 12 ont été changés avant le début du projet car ils étaient beaucoup plus âgés que ceux de la serre 11 qui avaient été changés l'année précédente. La ventilation de ces serres s'effectue naturellement grâce au toit ouvrant. Chaque serre possède sa propre sonde de température et est chauffée indépendamment par deux fournaies de 140 000 BTU/h de puissance brute. Les fournaies fonctionnent au gaz naturel. La gestion du climat est assurée par un système automatisé de contrôle de l'environnement de type Damatex.

2.1.2 Les Serres René Fontaine inc.

L'essai de gestion du climat en 2012 s'est déroulé dans la serre 16 en gestion conventionnelle et la serre 18 en gestion dynamique. Les deux serres sont des tunnels individuels de 27 pieds de largeur par 150 pieds de longueur recouverts avec un double polyéthylène soufflé. Les polyéthylènes avaient été changés la même année et leur état ne justifiait pas un changement. La ventilation de cette serre s'effectue naturellement grâce au toit ouvrant. Chaque serre possède sa propre sonde de température et est chauffée indépendamment par deux fournaies de 400 000 BTU/h de puissance brute. Les fournaies fonctionnent au propane. La gestion du climat est assurée par un système automatisé de contrôle de l'environnement de type Damatex.

2.2 Matériel végétal et dispositif expérimental

L'effet de la gestion du climat a été évalué sur trois cultivars de trois espèces d'annuelles : l'impatience de Nouvelle-Guinée, le géranium zonal et le calibrachoa. Le tableau 1 présente les cultivars utilisés chez les deux producteurs.

Tableau 1 Cultivars d'impatience Nouvelle-Guinée, de géranium zonal et de calibrachoa utilisés pour le projet

		Calibrachoa	Geranium	Impatience Nouvelle-Guinée
Les Serres et Jardins Girouard	A	Callie Coral Pink	Rocky Mountain Dark Red	Infinity Blushing Crimson
	B	Callie Scarlet	Rocky Mountain Deep Rose	Infinity Dark Pink
	C	Callie White	Rocky Mountain Lavender	Infinity Lilac
Les Serres René Fontaine	A	MiniFamous Apricot	Sunrise Arcona Fushia	Tamarinda Orange Orchidée
	B	MiniFamous Vampire	Sunrise Polaris Rouge	Tamarinda Pourpre Bicolore
	C	MiniFamous Bleu foncée	Sunrise Eroica Saumon	Tamarinda Rouge Bicolore

Le traitement que subissent les plantes est la gestion du climat dans une serre. Il n'était pas possible de répéter les traitements (serre) chez un même producteur. Les blocs étaient imbriqués dans les traitements. Les cultivars ont été ajoutés pour augmenter la puissance des

tests statistiques. Dans chaque serre, les plants étaient disposés selon un dispositif en split-plot comprenant 4 blocs. L'emplacement des espèces d'annuelles (parcelles principales) et des cultivars (parcelles secondaires) a été distribué aléatoirement d'un bloc à l'autre. Une unité expérimentale (UE) était composée d'un plateau contenant 10 pots de 4 po d'un même cultivar. Le dispositif a été mis en place le 20 mars chez Les Serres René Fontaine et le 14 mars chez Les Serres et Jardins Girouard.

2.3 Bilan lumineux

Afin de ne pas biaiser l'analyse des bilans énergétiques et des résultats agronomiques obtenus, il est nécessaire de caractériser la transmission de la lumière des serres.

Pour calculer le taux de transmission de la lumière, il faut d'abord dresser un graphique de la lumière émise à l'extérieur de la serre et à l'intérieur de la serre mesurée par les différents capteurs installés. Deux capteurs ont été installés dans chacune des serres. Par la suite, l'aire sous les courbes est estimée, puis le taux de transmission de la lumière est calculé en effectuant le rapport des deux surfaces.

$$\text{Taux de transmission de la lumière} = \frac{\text{Aire sous la courbe de la lumière émise dans la serre}}{\text{Aire sous la courbe de la lumière émise à l'extérieur}}$$

La condensation affecte le taux de transmission de la lumière, c'est pourquoi les tests ont été réalisés en juin lorsque les serres étaient vides et le risque de condensation minimale.

En cours de projet, des mesures de lumière ont été prises à l'aide d'un photomètre pour vérifier l'uniformité au-dessus des blocs.

2.4 Gestion du climat

Dans le projet, afin d'appliquer la technique de la gestion dynamique du climat, il a été choisi de travailler sur plusieurs paramètres de la gestion du climat.

Température de base

La température de base est la température à laquelle, les plantes devraient être cultivées lors des conditions nuageuses. C'est la température minimale à programmer, et sur laquelle les effets de lumière sont ajoutés. Les températures de base habituellement utilisées par les producteurs ont été programmées. Chez Les Serres et Jardins Girouard, les consignes de chauffage de base de jour et de nuit étaient de 19 °C et 18 °C respectivement. Donc la température moyenne journalière visée était de 18,5 °C en période nuageuse. La consigne de ventilation était à 22 °C. Chez Les Serres René Fontaine, les consignes de chauffage de base de jour et de nuit étaient de 16 °C. Donc la température moyenne journalière visée était de 16 °C en période nuageuse. La consigne de ventilation était à 21 °C le jour.

2.4.1 DIP

La technique du DIP a été appliquée. Pour ce faire, la température de base a été abaissée pour une période d'une heure et demie débutant 30 minutes avant le lever du soleil. La baisse de température lors du DIP était de 5 °C au Serres Girouard et de 3 °C aux Serres René Fontaine. La vitesse de transition après la période du DIP était d'une heure.

2.4.2 Intensité lumineuse

Le système Damatex permet d'ajuster les températures avec l'intensité de la lumière mesurée à l'extérieur. Afin d'éviter le chauffage inutile de la culture en période nuageuse, l'influence de la lumière débutait à une valeur d'intensité lumineuse de 150 W/m² mesurée à l'extérieur et était maximale à 600 W/m². Donc en dessous de 150 W/m², il n'y avait aucune influence de la lumière sur la ventilation et à 600 W/m², 8 °C de plus étaient ajoutés à la température de ventilation dans la serre en gestion dynamique. Cette influence permet surtout d'éviter de chauffer inutilement en période nuageuse et de maintenir des consignes plus fraîches et plus adéquates pour les plantes. L'influence de la lumière a été appliquée sur une période de 30 minutes afin d'éviter les fluctuations.

2.4.3 Influence du gain de chaleur

Pour les fins de ce projet, la différence entre la température moyenne de jour plus élevée et la température moyenne cible (le gain de chaleur) sera appliquée sur la température nocturne suivante. Si le gain est de 1 °C durant le jour, 1 °C sera soustrait de la température cible de la nuit suivante, ce qui favorise l'obtention d'une température quotidienne-cible telle que prévue, mais avec des coûts de chauffage moindres en raison du degré en moins maintenu durant la nuit.

2.5 Bilan énergétique

Le bilan énergétique consiste à déterminer la quantité d'énergie requise par unité de surface et par degré-jour de chauffage.

Pour déterminer la consommation énergétique, il faut déterminer la durée de mise en marche de la chaudière pour un intervalle de temps. Cet intervalle de temps peut ensuite être multiplié par la puissance de la chaudière pour obtenir l'énergie qui a été consommée. Par la suite, pour obtenir un indicateur qui ne dépend pas de facteurs externes comme le climat, la consommation énergétique est divisée par la superficie de la serre et le nombre de degrés-jours de chauffage.

Les données nécessaires pour effectuer les bilans énergétiques et lumineux ont été recueillies par le CIDES. Par contre, étant donné la situation financière précaire du CIDES, une partie des données a été traitée et analysée par un ingénieur du Syndicat des producteurs en serres du Québec (SPSQ).

2.6 Prise de données

Pour évaluer l'effet des traitements sur la qualité des plantes, différentes mesures de croissance des plantes ont été prises. Également, l'incidence des maladies fongiques et des insectes nuisibles ainsi que le nombre d'applications de régulateurs de croissance ont été notés.

2.6.1 Taille des plants

Cinq plants par unité expérimentale ont été sélectionnés au départ. Des mesures de hauteur et de largeur ont été faites sur les mêmes plants à quatre ou six reprises entre le 14 mars et le 16 mai 2012 (voir section résultats) à l'aide d'une règle. La mesure de hauteur a été prise entre le début de la tige à la surface du substrat et le point végétatif le plus haut. La mesure de largeur a été prise entre les points végétatifs les plus éloignés.

2.6.2 Longueur des tiges et entre-nœuds

À la fin du projet, la longueur de la plus longue tige et le nombre d'entre-nœuds sur cette dernière ont été mesurés sur trois plants par unité expérimentale. La distance moyenne des entre-nœuds a été calculée en divisant la longueur des tiges par le nombre d'entre-nœuds.

2.6.3 Production de fleurs

À la fin du projet, le nombre de fleurs et de boutons floraux a été compté sur trois plants de calibrachos et d'impatiens par unité expérimentale. Le nombre de grappes de fleurs a été compté sur les géraniums.

Il était prévu de noter la date où 50 % des plants d'une unité expérimentale était en fleurs. Puisque certaines unités n'avaient pas atteint ce pourcentage au moment où les serres devaient être vidées, le pourcentage de plants en fleurs lors de la dernière prise de données a été utilisé pour les analyses.

2.7 Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de la procédure '*Mixed*' du logiciel SAS. Puisque deux facteurs sont présents (effets des cultivars et effets de la gestion du climat), il a d'abord été déterminé s'il existait une interaction significative entre ces deux facteurs. Si tel était le cas, cela signifiait que les cultivars répondent différemment aux traitements et chaque combinaison (gestion/cultivar) ont été alors comparée indépendamment à l'aide du test '*LSMeans*' de SAS. En absence d'interaction entre les cultivars et les traitements, les effets simples liés uniquement aux traitements peuvent être évalués, en combinant tous les cultivars. Les effets liés uniquement aux cultivars sont de moindre importance pour le présent projet. Il était prévisible que des différences soient observées entre les cultivars (espèces). Lorsque les postulats d'homogénéité de la variance ou de la normalité des résidus n'étaient pas respectés, des transformations appropriées ont été effectuées.

3 Résultats préliminaires

3.1 Bilan lumineux

Les graphiques à partir desquels l'aire sous les courbes a été évaluée ainsi que les équations détaillées sont présentés dans l'annexe 1 pour Les Serres et Jardins Girouard et dans l'annexe 2 pour Les Serres René Fontaine. Le Tableau 2 présente le taux de transmission de la lumière calculé pour chacune des serres.

Tableau 2 Taux de transmission de la lumière dans les serres des deux producteurs

Identification de la serre	Taux de transmission de la lumière (%)
Serres Girouard – Serre 11 Traditionnelle	66.06
Serres Girouard – Serre 12 Dynamique	73.65
Serres Fontaine- Serre 16 Traditionnelle	76.32
Serres Fontaine – Serre 18 Dynamique	71.67

En ce qui a trait à la serre 12, une seule des deux sondes présentes a pu être utilisée puisque l'autre sonde se trouvait sous un liquide ombrageant qui n'était présent qu'à cet endroit spécifique de la serre. Toutefois, ce produit ombrageant n'était pas présent lors de la réalisation des tests de gestion du climat, mais seulement lors de la prise des données du bilan lumineux qui s'est fait en juin.

Ces taux de transmission de lumières sont assez satisfaisants pour procéder à l'analyse énergétique. En effet, si les taux de transmission de la lumière n'avaient pas été valides, les données dégagées du bilan énergétique ne l'auraient pas été non plus. De plus, les différences entre le taux de transmission de lumière dans les serres pour un même producteur ne sont pas suffisantes pour qu'il y ait eu un impact significatif sur la croissance des plants.

3.2 Hauteur de plant

Le Tableau 3 présente la hauteur des plants prise à cinq différentes dates au cours du projet chez Les Serres René Fontaine. L'analyse statistique démontre une interaction significative entre le type de gestion et les cultivars, ce qui indique que dès le commencement du projet, des plants d'un même cultivar étaient significativement plus grands dans l'une ou l'autre des serres. En effet, le cultivar A de calibrachoa et le cultivar C d'impatiente étaient plus grands dans la serre en gestion traditionnelle tandis que le cultivar B d'impatiente était plus haut dans la serre en gestion dynamique. Une attention particulière sera portée au début de la deuxième année du projet pour uniformiser la hauteur des plants dans les deux serres. L'analyse ne démontre plus d'interaction significative lors de la dernière prise de mesure le 11 mai. L'absence d'interaction permet d'évaluer les effets simples liés uniquement à la gestion en combinant tous les cultivars de toutes les espèces. L'analyse démontre que la hauteur moyenne des plants dans la serre en gestion dynamique (12,6 cm) était significativement plus grande que celle dans la serre en gestion traditionnelle (11,7 cm). Aucun régulateur de croissance n'a été appliqué pour contrôler la hauteur des plants dans les deux serres.

Tableau 3 Hauteur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine.

		Hauteur (cm)				
Espèce (cultivar)	Gestion	20 mars	29 mars	13 avril	26 avril	11 mai
Calibrachoa						
A	Dynamique	6,9 b	8,7 b	9,0	11,1	14,8
	Traditionnelle	10,6 a	11,2 a	8,7	11,3	13,9
B	Dynamique	6,1	7,4	7,4	9,5	12,9
	Traditionnelle	6,5	7,2	7,6	9,8	12,7
C	Dynamique	12,9	14,6	9,6	11,0	13,4
	Traditionnelle	13,0	14,2	9,0	10,2	12,2
Géranium						
A	Dynamique	10,8	10,2	9,4	11,0	13,3
	Traditionnelle	10,2	9,8	9,8	10,5	12,3
B	Dynamique	9,7	9,7	10,1 a	12,3 a	14,3
	Traditionnelle	10,5	9,3	9,1 b	10,6 b	13,1
C	Dynamique	9,3	9,2 a	10,0 a	10,2 a	12,6
	Traditionnelle	8,9	7,9 b	7,5 b	8,7 b	10,2
Impatiente						
A	Dynamique	6,0	6,4	7,6	9,1	11,1
	Traditionnelle	6,3	6,3	7,1	8,0	9,5
B	Dynamique	8,9 a	9,9 a	11,3 a	12,0 a	12,6
	Traditionnelle	6,6 b	6,9 b	7,9 b	9,1 b	11,1
C	Dynamique	5,3 b	5,1 b	7,0 b	8,0 b	8,7
	Traditionnelle	7,8 a	7,9 a	8,7 a	9,8 a	10,8
Probabilité						
Gestion						*
Cultivar (espèce)						**
Gestion*Cultivar (espèce)		**	**	**	**	NS

Le Tableau 4 présente la hauteur moyenne des géraniums et des impatientes à six différentes dates chez Les Serres et Jardins Girouard. Les calibrachos ont été exclus de l'analyse car ils n'ont pas subi la même taille d'entretien dans les deux serres. Contrairement à l'autre producteur, des plants de hauteur uniforme ont été distribués dans les deux serres au début du projet et l'analyse a démontré une interaction significative lors de la dernière prise de données. Le 16 mai les trois cultivars de géranium étaient plus hauts dans la serre en gestion dynamique tandis que les trois cultivars d'impatiente étaient plus hauts dans la serre en gestion traditionnelle. Quatre applications de régulateur de croissance ont été faits dans chacune des serres aux mêmes dates, soit le 25 mars, le 3 avril, le 11 avril et le 26 avril.

Tableau 4 Hauteur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.

		Hauteur (cm)					
Espèce (cultivar)	Gestion	14 mars	22 mars	5 avril	19 avril	2 mai	16 mai
Géranium							
A	Dynamique	7,6	9,1	12,1	13,7 a	13,6 a	14,8 a
	Traditionnelle	7,7	9,5	10,7	12,0 b	12,2 b	12,0 b
B	Dynamique	7,7	9,1	11,7	13,5 a	14,1 a	14,9 a
	Traditionnelle	7,6	8,5	10,5	12,0 b	12,2 b	12,8 b
C	Dynamique	7,5	8,9	12,1	13,6 a	15,0 a	15,7 a
	Traditionnelle	8,1	9,0	11,4	12,3 b	12,7 b	12,8 b
Impatiente							
A	Dynamique	5,6	5,5	6,9	7,7 b	8,1 b	9,1 b
	Traditionnelle	6,2	6,3	7,5	9,6 a	9,9 a	10,9 a
B	Dynamique	6,0	6,8	8,6	9,5	10,5	10,9 b
	Traditionnelle	5,5	6,3	7,9	10,5	10,7	12,1 a
C	Dynamique	7,8	8,3	8,7	10,2	10,5	10,6
	Traditionnelle	6,9	7,0	8,1	10,3	10,1	11,0
Probabilité							
Gestion		NS	NS	*			
Cultivar (espèce)		**	**	**			
Gestion*Cultivar (espèce)		NS	NS	NS	**	**	**

3.3 Largeur de plants

Le Tableau 5 présente la largeur des plants prise à quatre différentes dates au cours du projet chez Les Serres René Fontaine. La largeur des plants n'a pas été mesurée lors de la mise en place du dispositif. Lors de la première prise de mesure le 29 mars, l'analyse statistique démontre une interaction significative entre le type de gestion et les cultivars, ce qui indique que des plants d'un même cultivar étaient significativement plus larges dans l'une ou l'autre des serres. En effet, le cultivar A de calibrachoa et le cultivar C d'impatiante étaient plus larges dans la serre en gestion traditionnelle tandis que le cultivar B d'impatiante était plus large dans la serre en gestion dynamique. L'analyse ne démontre plus d'interaction significative lors de la dernière prise de mesure le 11 mai. À cette date, l'effet simple lié uniquement à la gestion est également non significatif.

Tableau 5 Largeur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine.

Espèce (cultivar)	Gestion	29 mars	13 avril	26 avril	11 mai
Calibrachoa					
A	Dynamique	10,0 b	12,9	19,0	27,0
	Traditionnelle	15,0 a	14,5	20,9	27,1
B	Dynamique	11,2	12,0	16,4	23,3
	Traditionnelle	12,6	13,7	19,8	27,1
C	Dynamique	12,8	11,4	14,6	21,2
	Traditionnelle	12,5	12,0	14,0	18,4
Géranium					
A	Dynamique	14,8	17,8	18,7	18,3
	Traditionnelle	14,3	17,8	18,0	18,1
B	Dynamique	14,0	17,7	19,7	20,1
	Traditionnelle	15,8	18,9	19,8	19,2
C	Dynamique	14,1	17,2	17,7	19,3
	Traditionnelle	14,5	18,0	18,6	17,5
Impatiante					
A	Dynamique	13,0	14,3	16,7	17,5
	Traditionnelle	12,2	14,2	16,2	15,6
B	Dynamique	13,5 a	13,9	15,3	16,0
	Traditionnelle	10,9 b	12,6	14,1	14,6
C	Dynamique	10,0 b	10,5	11,9	14,3
	Traditionnelle	12,3 a	12,6	13,3	15,3
Probabilité					
Gestion			*	NS	NS
Cultivar (espèce)			**	**	**
Gestion*Cultivar (espèce)		**	NS	NS	NS

Le Tableau 6 présente la largeur moyenne des géraniums et des impatiétes à cinq différentes dates chez Les Serres et Jardins Girouard. La largeur des plants n'a pas été mesurée lors de la mise en place du dispositif. Lors de la première mesure de largeur le 22 mars, l'analyse statistique ne démontre pas d'interaction significative entre le type de gestion et les cultivars.

Par contre, l'évaluation des effets simples liés uniquement à la gestion en combinant tous les cultivars de toutes les espèces indique que la moyenne de largeur de tous les plants dans la serre en gestion dynamique (14.3 cm) était significativement plus petite que celle dans la serre en gestion traditionnelle (15.2 cm). Toutefois, lors de la dernière prise de données le 16 mai, l'analyse statistique a démontré une interaction significative entre les cultivars et la gestion du climat. Les trois cultivars de géranium étaient plus larges dans la serre en gestion dynamique tandis que les trois cultivars d'impatiéte étaient plus larges dans la serre en gestion traditionnelle.

Tableau 6 Largeur moyenne des plants prise à différentes dates en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.

Espèce (cultivar)	Gestion	22 mars	5 avril	19 avril	2 mai	16 mai
Géranium						
A	Dynamique	15,4	20,1	21,8	23,3 a	25,6 a
	Traditionnelle	16,1	19,5	20,9	21,0 b	22,3 b
B	Dynamique	16,6	19,4	20,0	20,9	23,4 a
	Traditionnelle	17,7	19,8	20,5	20,5	21,6 b
C	Dynamique	16,6	19,9	20,0	22,1 a	24,5 a
	Traditionnelle	18,2	20,7	20,9	20,3 b	22,4 b
Impatiéte						
A	Dynamique	11,9	14,1	15,1 b	16,3 b	16,7 b
	Traditionnelle	13,0	16,2	18,2 a	19,8 a	20,7 a
B	Dynamique	12,7	15,8	16,4	17,6 b	17,8 b
	Traditionnelle	13,1	16,5	16,4	19,3 a	20,3 a
C	Dynamique	12,4	14,3	14,2	14,9 b	16,9 b
	Traditionnelle	13,4	14,7	15,4	17,5 a	19,0 a
Probabilité						
Gestion		*	NS			
Cultivar (espèce)		**	**			
Gestion*Cultivar (espèce)		NS	NS	*	**	**

3.4 Longueur des tiges et entre-nœuds

Le Tableau 7 présente la longueur, le nombre d'entre-nœuds et la distance moyenne entre les nœuds de la plus longue tige pour chaque cultivar chez Les Serres René Fontaine. Le type de gestion du climat n'a pas influencé la longueur moyenne des entre-nœuds et la longueur de la plus longue tige. Par contre, pour le cultivar B de calibrachoa et le cultivar C d'impatiente, le nombre d'entre-nœuds était significativement plus élevé dans la serre en gestion traditionnelle tandis qu'il était plus élevé en gestion dynamique pour le cultivar C de géranium.

Tableau 7 Longueur de la plus longue tige, nombre d'entre-nœuds et distance moyenne entre les nœuds le 11 mai en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres René Fontaine

Espèce (cultivar)	Gestion	Longueur plus longue tige (cm)	Nombre entre-nœuds	Distance entre-nœuds (cm)
Calibrachoa				
A	Dynamique	22,9	15,0	1,6
	Traditionnelle	21,8	16,1	1,4
B	Dynamique	19,6	13,9 b	1,5
	Traditionnelle	18,1	16,9 a	1,1
C	Dynamique	16,1	23,0	0,7
	Traditionnelle	16,6	20,8	0,8
Géranium				
A	Dynamique	6,5	7,8	0,8
	Traditionnelle	6,0	7,1	0,9
B	Dynamique	6,7	7,6	0,9
	Traditionnelle	5,5	7,3	0,8
C	Dynamique	7,2	6,4 a	1,1
	Traditionnelle	6,2	5,1 b	1,2
Impatiente				
A	Dynamique	6,0	2,9	2,2
	Traditionnelle	5,7	3,2	1,8
B	Dynamique	7,0	3,8	1,9
	Traditionnelle	5,8	4,1	1,4
C	Dynamique	5,0	4,2 b	1,2
	Traditionnelle	7,2	5,5 a	1,3
Probabilité				
Gestion		NS		NS
Cultivar (espèce)		**		**
Gestion*Cultivar (espèce)		NS	*	NS

Le Tableau 8 présente la longueur, le nombre d'entre-nœuds et la distance moyenne entre les nœuds de la plus longue tige pour chaque cultivar chez Les Serres René Fontaine. Le type de gestion du climat n'a pas influencé le nombre d'entre-nœuds et la longueur moyenne des entre-nœuds. Par contre, pour les cultivars B et C de géranium, la plus longue tige était significativement plus longue dans la serre en gestion dynamique que dans la traditionnelle à la fin du projet.

Tableau 8 Longueur de la plus longue tige, nombre d'entre-nœuds et distance moyenne entre les nœuds le 16 mai en fonction des traitements de gestion du climat chez Les Serres et Jardins Girouard.

Espèce (cultivar)	Gestion	Longueur plus longue tige (cm)	Nombre entre-nœuds	Distance entre-nœuds (cm)
Géranium				
A	Dynamique	10,1	9,1	1,1
	Traditionnelle	10,2	9,3	1,1
B	Dynamique	10,6 a	9,6	1,1
	Traditionnelle	8,8 b	9,6	0,9
C	Dynamique	11,8 a	9,3	1,3
	Traditionnelle	10,0 b	9,6	1,1
Impatiente				
A	Dynamique	5,3	2,5	2,1
	Traditionnelle	6,0	3,5	1,8
B	Dynamique	6,1	2,7	2,4
	Traditionnelle	7,2	2,8	2,8
C	Dynamique	6,2	2,9	2,2
	Traditionnelle	6,7	2,9	2,4
Probabilité				
Gestion			NS	NS
Cultivar (espèce)			**	**
Gestion*Cultivar (espèce)		**	NS	NS

3.5 Production de fleurs

Chez Les Serres René Fontaine, l'analyse n'a démontré aucune interaction significative, mais par contre un effet significatif de la gestion du climat pour le nombre de fleurs par plant de calibrachoa et d'impatiétes et le nombre de tiges florales en floraison par plant de géranium. Le nombre moyen de fleurs ouvertes par plant sur les calibrachos et les impatiétes était respectivement 9,8 et 0,9 dans la serre en gestion traditionnelle et de 6,8 et 0,2 dans la serre en gestion dynamique. Il y avait en moyenne 0,8 grappe en fleurs en gestion traditionnelle contrairement à 0,4 en gestion dynamique.

Chez Les Serres et Jardins Girouard, le nombre de fleurs ou de grappes de fleurs ne différaient pas significativement selon la gestion du climat. Il y avait en moyenne 1,8 fleur par plant d'impatiéte et 0,6 grappe de fleurs ouvertes par plant de géranium.

Pour les deux producteurs, la gestion du climat n'a pas eu une influence significative sur le nombre de plants en fleur à la fin du projet. Chez Les Serre René Fontaine, en moyenne 98 % des calibrachos, 70 % des géraniums et 33 % des impatiétes étaient en fleurs. Tandis que chez Les Serres et Jardins Girouard 44 % des géraniums et 75 % des impatiétes étaient en fleurs.

3.6 Incidence des maladies fongiques et des ravageurs

La gestion du climat n'a pas influencée de façon notable l'incidence des maladies fongiques et des ravageurs. En effet, chez un seul des producteurs la présence de pucerons et de botrytis a été observée, mais dans les deux serres.

3.7 Bilan énergétique

Seuls les résultats du bilan énergétique effectué pour l'entreprise Les Serres et Jardins Girouard sont présentés. En effet, il a été constaté dernièrement que le bilan énergétique pour Les Serres René Fontaine présentait certaines inexactitudes. L'ingénieur du SPSQ responsable n'était pas en mesure d'effectuer les corrections avant la remise du présent rapport. Le bilan sera présenté dans le rapport final.

Pour Les Serres et Jardins Girouard, la consommation d'énergie et les ratios d'efficacité énergétique journaliers sont présentés dans l'annexe 3. La somme des ratios journaliers est de 97.8 kWh/100DJc/pi² dans la serre en gestion traditionnelle et de 62.4 kWh/100DJc/pi² dans la serre en gestion dynamique. La différence de 36 % calculée entre les ratios d'efficacité énergétique permet de voir que la serre sous gestion dynamique du climat offre un meilleur ratio d'efficacité énergétique. La différence entre les ratios d'efficacité énergétique constitue la valeur la plus importante pour comparer les serres.

En effet, les consommations de gaz naturel sont évaluées de manière théorique (multiplication de la puissance de la chaudière par le temps d'utilisation). Aucune notion d'efficacité de la chaudière n'est tenue en compte dans le calcul des ratios. Toutefois, puisque la même méthodologie est appliquée pour les calculs de ratio d'efficacité énergétique des deux serres chez chaque producteur, la valeur relative entre les ratios constitue un bon indicateur.

4 Conclusions et suite du projet

Bien que les résultats obtenus soient prometteurs, il serait prématuré de conclure que la gestion dynamique du climat permet de plus grandes économies d'énergie que le système de gestion traditionnelle. En effet, les deux serres comparées ne sont pas exactement identiques. La structure des serres, les productions et les façons de faire peuvent différer d'une serre à l'autre. L'inversion des types de gestion du climat au cours de la prochaine période d'expérimentation permettra de réduire l'importance de ces facteurs. L'obtention de ratios similaires les deux années confirmera que les résultats sont dus à la gestion du climat et non à des différences reliées aux serres. De plus, les résultats valides du bilan énergétique de l'année 2012 sont encore à venir pour Les Serres René Fontaine.

En ce qui a trait à la croissance des plants, les résultats préliminaires indiquent qu'une production sous gestion dynamique a permis d'obtenir chez un des producteurs des plants en moyenne plus hauts pour tous les cultivars. Tandis que chez l'autre, les résultats montrent une réponse différente des espèces à la gestion du climat. En effet, les impatientes normalement produites sous conditions chaudes ont été favorisées dans la serre en gestion traditionnelle. Les nuits plus froides dans la serre en gestion dynamique ont pu nuire à leur croissance. À l'inverse, les géraniums qui tolèrent bien des conditions plus fraîches se sont développés d'avantage dans la serre en gestion dynamique.

De plus, la gestion du climat n'a pas eu d'effet significatif sur le moment de la floraison chez les deux producteurs. Par contre, le nombre de fleurs ouvertes à la fin du projet était légèrement plus élevé dans la serre en gestion traditionnelle chez l'un des producteurs. Malgré que les analyses démontrent quelques différences significatives, ces dernières sont considérées comme négligeables et la qualité des plants équivalente.

Également, il est intéressant de noter que la gestion dynamique du climat n'a pas favorisé le développement de maladies fongiques ni la présence de ravageurs et n'a pas influencé le nombre d'applications de régulateur de croissance.

L'expérimentation sera reprise en 2013 chez les mêmes producteurs sans modification majeure. L'ajustement des réglages de gestion du climat est déjà presque terminé, la réception des boutures et la mise en place des dispositifs sont prévues pour la semaine prochaine. Avec les résultats obtenus suite à l'inversion des types de gestion, il sera possible de réaliser une analyse plus approfondie des avantages et inconvénients que peut apporter une gestion dynamique du climat pour des producteurs qui utilisent différentes températures de base dans leur gestion traditionnelle

Remerciements

Nous aimerions remercier le ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec pour son aide financière apportée dans le cadre du Programme de soutien à l'innovation horticole.

Notre gratitude s'adresse particulièrement aux deux entreprises de production d'annuelles en serre, Les Serres et Jardins Girouard et Les Serres René Fontaine, nos partenaires indispensables dans ce projet.

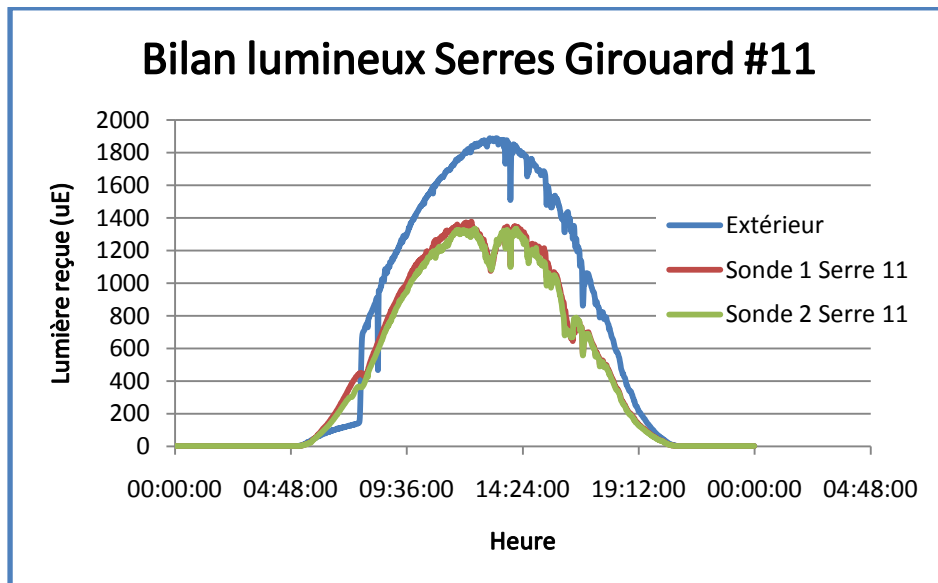
Nous remercions l'équipe du CIDES pour sa précieuse collaboration à ce projet et le Syndicat des producteurs en serre du Québec pour son appui ainsi que l'aide offerte pour finaliser les bilans énergétiques.

Nous remercions l'équipe de Damatex pour le support technique essentiel à la réalisation de ce projet.

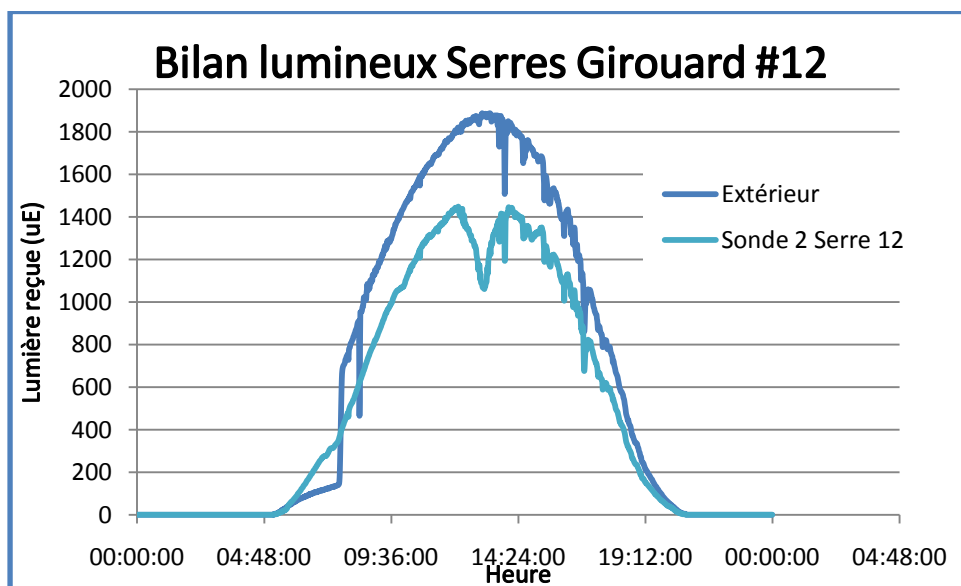
Nous tenons également à remercier Marie-Pier Lamy de l'Université Laval de son aide pour l'analyse statistique des données.

Finalement, nous remercions nos collègues de l'IQDHO, Michel Delorme, Marie-Claude Lavoie et Martin Trépanier, ainsi que nos anciens collègues Régis Larouche et Sophie Rochefort pour leur importante contribution au projet.

Annexe 1 : Graphiques et équations du bilan lumineux chez Les Serres et Jardins Girouard

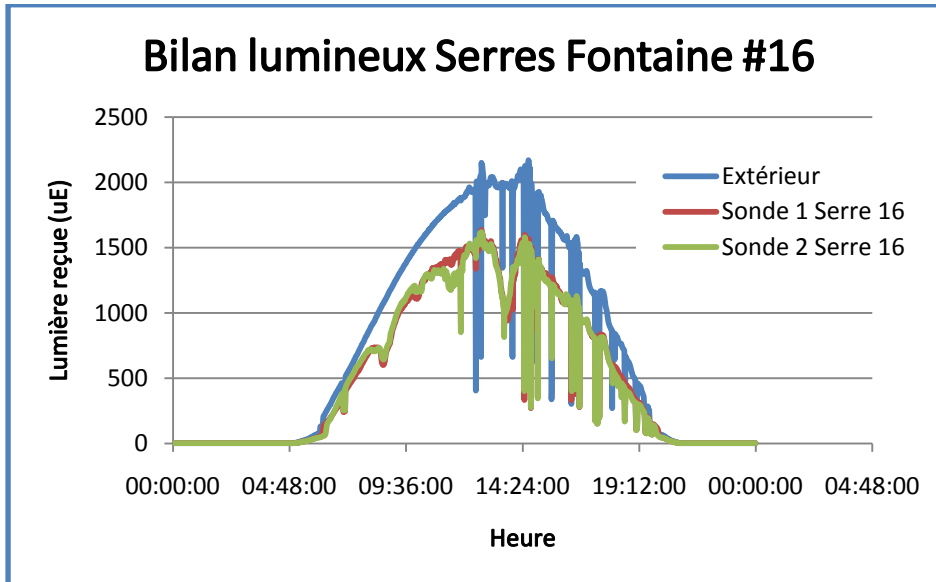


$$\text{Taux de transmission de la lumière (serre 11)} = \frac{63.8598 \text{ } p\text{f}^2}{(63.8598 + 30.8) \text{ } p\text{f}^2} = 66.06 \%$$

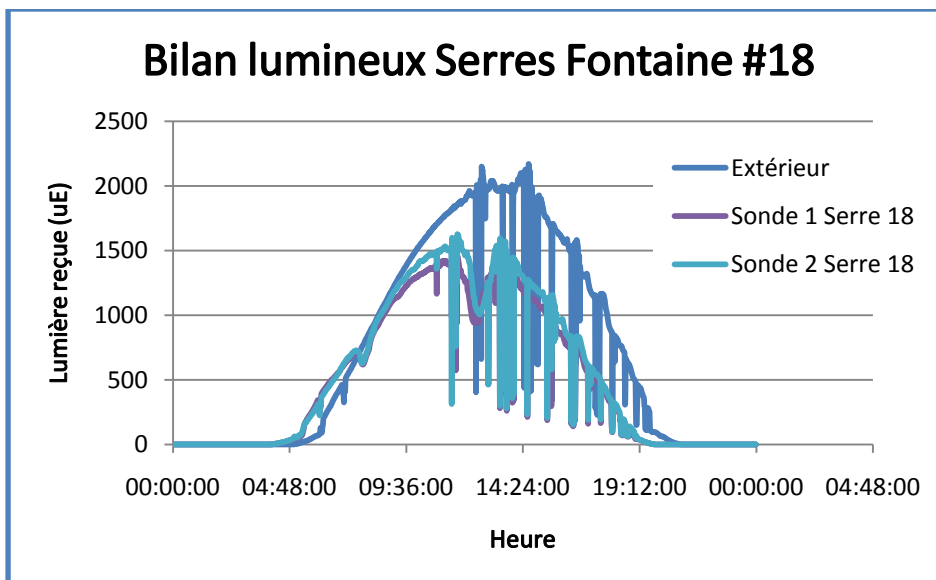


$$\text{Taux de transmission de la lumière (serre 12)} = \frac{70.4639 \text{ } p\text{f}^2}{(70.4636 + 25.2063) \text{ } p\text{f}^2} = 73.65 \%$$

Annexe 2 : Graphiques et équations du bilan lumineux chez Les Serres René Fontaine



$$\text{Taux de transmission de la lumière (serre 16)} = \frac{60.5633 \text{ } p\ddot{r}^2}{(60.5633 + 18.7886) \text{ } p\ddot{r}^2} = 76.32 \%$$



$$\text{Taux de transmission de la lumière (serre 18)} = \frac{59.5015 \text{ } p\ddot{r}^2}{(59.5015 + 23.5163) \text{ } p\ddot{r}^2} = 71.67 \%$$

Annexe 3 : Détails du bilan énergétique réalisé chez Les serres et Jardins Girouard

Superficie de la serre 16	4050 pi ²
Superficie de la serre 18	4050 pi ²
Puissance brute des chaudières	41 kW
Valeur énergétique du mazout	10,78 kWh/L

Date	Serre 11 Traditionnelle				Serre 12 Dynamique			
	Degrés-jour de chauffe (DJc)	Volume de mazout consommé (L)		Ratio d'efficacité énergétique (kWh/100DJc/pi ²)	Degrés-jour de chauffe (DJc)	Volume de mazout consommé (L)		Ratio d'efficacité énergétique (kWh/100DJc/pi ²)
		Nord	Sud			Nord	Sud	
2012-03-15	13,60	3,91	6,45	0,20	12,03	36,87	32,29	1,49
2012-03-16	12,82	0,43	2,03	0,05	11,27	56,80	46,23	2,38
2012-03-17	10,03	13,41	13,21	0,69	8,49	24,88	25,07	1,53
2012-03-18	2,27	34,34	26,89	7,01	1,13	8,38	8,88	3,99
2012-03-19	3,54	18,14	19,23	2,74	1,19	3,29	10,18	2,95
2012-03-20	3,55	34,12	30,15	4,71	2,39	8,12	9,93	1,96
2012-03-21	.	.	.	Non valide	.	.	.	Non valide
2012-03-22	.	.	.	Non valide	.	.	.	Non valide
2012-03-23	.	.	.	Non valide	.	.	.	Non valide
2012-03-24	.	.	.	Non valide	.	.	.	Non valide
2012-03-25	8,80	27,44	21,68	1,45	6,98	35,47	34,94	2,62
2012-03-26	15,19	26,33	25,72	0,89	13,93	39,67	30,98	1,32
2012-03-27	29,88	46,64	34,52	0,71	41,82	35,12	27,45	0,39
2012-03-28	14,23	37,05	27,84	1,19	12,63	44,32	38,75	1,71
2012-03-29	13,26	36,13	27,05	1,24	11,95	41,80	34,27	1,66
2012-03-30	14,39	21,27	20,09	0,75	12,62	31,75	24,78	1,16
2012-03-31	13,01	0,00	0,00	0,00	10,18	29,07	24,28	1,36
2012-04-01	12,30	38,24	31,90	1,48	11,75	21,51	19,10	0,90
2012-04-02	11,56	44,61	34,69	1,78	12,97	25,19	21,00	0,93
2012-04-03	10,33	43,52	35,35	1,99	11,82	20,31	15,51	0,79
2012-04-04	9,27	39,90	32,88	2,04	8,31	14,52	20,60	1,10
2012-04-05	10,97	41,37	32,04	1,74	11,61	19,10	19,97	0,88
2012-04-06	10,56	35,86	28,31	1,58	11,60	13,46	14,47	0,63
2012-04-07	9,87	37,61	29,95	1,78	10,19	15,87	15,80	0,81
2012-04-08	8,23	33,19	28,97	1,96	7,53	8,13	16,19	0,84
2012-04-09	9,10	35,55	29,33	1,85	8,08	9,82	18,14	0,90
2012-04-10	8,88	32,40	27,13	1,74	9,14	9,14	14,81	0,68
2012-04-11	8,93	33,53	27,80	1,79	8,74	9,57	17,27	0,80
2012-04-12	7,77	34,63	27,48	2,08	9,09	14,82	15,89	0,88
2012-04-13	5,85	34,86	28,36	2,81	7,50	17,92	16,23	1,18
2012-04-14	3,48	24,39	25,83	3,75	5,56	15,93	13,78	1,39
2012-04-15	0,67	4,47	7,70	4,70	2,64	0,00	0,00	0,00
2012-04-16	.	.	.	Non valide	.	.	.	Non valide
2012-04-17	3,94	9,88	10,80	1,36	6,45	0,21	0,59	0,03

IQDHO Effet de la gestion dynamique du climat sur la consommation d'énergie et la production d'annuelles en serres ornementales

2012-04-18	9,22	34,24	26,90	1,72	11,13	12,70	15,14	0,65
2012-04-19	3,84	19,75	19,87	2,68	5,62	11,13	10,54	1,00
2012-04-20	8,00	33,74	30,02	2,07	6,52	10,87	16,45	1,09
2012-04-21	10,72	53,60	43,21	2,35	9,18	33,83	36,14	1,98
2012-04-22	12,10	66,17	33,11	2,13	11,78	27,36	23,05	1,11
2012-04-23	11,05	53,94	41,80	2,25	10,04	32,31	27,19	1,54
2012-04-24	7,96	32,81	25,93	1,92	8,53	13,53	12,73	0,80
2012-04-25	8,31	28,03	21,90	1,56	7,95	4,43	8,53	0,42
2012-04-26	7,81	26,67	25,92	1,75	7,19	5,33	8,27	0,49
2012-04-27	12,00	45,23	33,95	1,72	10,65	22,27	21,47	1,07
2012-04-28	11,93	37,36	27,93	1,42	13,19	19,81	17,92	0,74
2012-04-29	10,02	35,83	26,96	1,63	11,06	14,67	16,82	0,74
2012-04-30	7,12	24,75	22,38	1,72	8,60	10,16	10,02	0,61
2012-05-01	6,27	31,83	36,51	2,83	4,19	15,12	20,12	2,19
2012-05-02	4,30	14,64	16,29	1,87	2,75	9,86	10,12	1,89
2012-05-03	1,58	5,00	9,59	2,40	0,26	1,33	1,19	2,55
2012-05-04	2,61	8,39	14,90	2,32	0,60	1,51	2,91	1,91
2012-05-05	5,76	23,46	19,16	1,92	2,82	2,59	6,04	0,80
2012-05-06	4,99	26,74	20,26	2,45	2,45	6,28	9,92	1,72
2012-05-07	3,59	22,51	19,14	3,02	1,79	5,27	7,52	1,86
2012-05-08	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-09	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-10	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-11	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-12	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-13	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-14	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-15	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
2012-05-16	.	.	.	Non-valide	.	.	.	Non-valide
TOTAL	435,52	1 447,91	1 209,11	97,79874	425,90	871,43	869,48	62,41

	Ratio d'efficacité énergétique (kWh/100DJc/pi ²)		
	Serre 11	Serre 12	Différence (GC- GD)/GC (%)
	Gestion traditionnelle (GC)	Gestion dynamique (GD)	
Total	97,80	62,41	36,19%