



PCAA

Programme canadien d'adaptation agricole

Rapport final

Étude sur les performances agronomique, énergétique et économique que peuvent procurer les lampes à diodes électroluminescentes (DEL) de technologie récente aux principales cultures maraîchères en serre (tomates et laitue) en conditions réelles de production comme remplacement de la technique traditionnelle d'éclairage aux lampes haute pression de sodium (HPS)

Titre du projet

Projet 6742

Numéro du projet

Syndicat des producteurs en serre du Québec

Nom du demandeur

Septembre 2012 à Décembre 2013

Période couverte par le rapport

Rédigé par

Louis Dionne, directeur général du SPSQ

Claudia Berger, ing. - SPSQ

Gilles Cadotte, agr. - Consultant

Marco Girouard, ing. - CIDES

Nom et fonction du rédacteur

12 décembre 2013

Date de dépôt du rapport final

Le rapport final, transmis au CDAQ en version papier et Word, doit inclure :

- les biens livrables décrits à l'annexe C de la convention de contribution financière;*
- les pièces justificatives, numérotées et inscrites dans le document Plan de financement et conciliation des dépenses;*
- les copies des documents de diffusion produits faisant mention de la contribution du PCAA selon les règles de visibilité du programme.*

Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) s'est engagé à travailler avec des partenaires de l'industrie. Les opinions exprimées dans le présent document sont celles du demandeur et ne sont pas nécessairement partagées par AAC et le CDAQ.

Le Syndicat des producteurs en serre du Québec (SPSQ) tient à remercier les personnes suivantes :

Équipe de réalisation

Mme Claudia Berger, ing. - SPSQ

M. Gilles Cadotte, agr. - Consultant

M. Louis Dionne, directeur général - SPSQ

M. Marco Girouard, ing. - CIDES

M. Philippe Lefebvre, LED Innovation Design

Dr. Mark Lefsrug, Ph.D - Macdonald Campus, McGill University

Entreprises serricoles

Les Serres Lefort : M. Sylvain Lefort, M. Guillaume Proulx-Gobeil, ing. et M. Adolfo Minero

Serres Ovation : Mme Lynda Lévesque et M. Éric Bussière

Participation financière

Une partie du financement de ce projet a été assurée par Agriculture et Agroalimentaire Canada, par l'entremise du Programme canadien d'adaptation agricole (PCAA). Au Québec, la part destinée au secteur de la production agricole est gérée par le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec.



Agriculture et
Agroalimentaire Canada

Agriculture and
Agri-Food Canada

Table des matières

1. Objectifs.....	14
1.1. Objectif général.....	14
1.2. Objectifs spécifiques.....	14
2. Activités réalisées	15
3. Résultats et analyse du projet.....	17
3.1. Dresser le bilan lumineux des DEL et des HPS	18
3.1.1. Les Serres Lefort	18
3.1.2. Serres Ovation.....	43
3.2. Dresser le bilan climatique.....	77
3.2.1. Les Serres Lefort	77
3.2.2. Serres Ovation.....	83
3.3. Évaluer les performances agronomiques engendrées par l'utilisation des lampes DEL versus celles HPS.....	89
3.3.1. Les Serres Lefort	89
3.3.2. Serres Ovation.....	107
3.4. Établir le profil de consommation énergétique des DEL et des HPS	121
3.4.1. Les Serres Lefort	121
3.4.2. Serres Ovation.....	126
3.5. Dresser le bilan économique de l'utilisation des DEL	131
3.5.1. Éléments de base servant au coût d'établissement de l'éclairage de photosynthèse.....	131
3.5.2. Les Serres Lefort, production de plantules de laitue	133
3.5.3. Serres Ovation.....	144
4. Diffusion des résultats.....	157
5. Conclusions	159
6. Sommaire des accomplissements du projet.....	162
7. Plan de financement et conciliation des dépenses.....	164

Liste des annexes

Annexe 1 : Les Serres Lefort - Présentation du dispositif expérimental.....	165
Annexe 2 : Serres Ovation - Complexe 1 - Coupe verticale et transversale de la parcelle en éclairage DEL.....	166
Annexe 3 : Serres Ovation - Complexe 1 - Localisation des points de mesure pour l'intensité lumineuse - Parcelle en éclairage DEL.....	167
Annexe 4 : Serres Ovation - Complexe 1 - Vue aérienne de la disposition des sacs de substrat.....	168
Annexe 5 : Les Serres Lefort - Disposition des barres DEL.....	169
Annexe 6 : Caractéristiques de l'éclairage HPS chez Les Serres Lefort et Serres Ovation.....	170
Annexe 7 : Caractéristiques de l'éclairage DEL chez Les Serres Lefort et Serres Ovation.....	188
Annexe 8 : Les Serres Lefort - Localisation et identification des plateaux choisis pour la prise des données lumière et agronomique.....	190
Annexe 9 : Spécifications du capteur de lumière Li-Cor : Li-193.....	195
Annexe 10 : Les Serres Lefort - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer la répartition de la lumière des serres 36 et 37, et des lots 1 et 2 (début et fin).....	196
Annexe 11 : Serres Lefort - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des serres 36 et 37.....	198
Annexe 12 : Les Serres Lefort - Serres 36 et 37, lots 1 et 2 - Bilan de lumière.....	199
Annexe 13 : Serres Ovation - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des complexes 1 et 2.....	206
Annexe 14 : Serres Ovation - Complexes 1 et 2 - Bilan de lumière.....	207
Annexe 15 : Les Serres Lefort - Images thermiques des parcelles 36 et 37 prises le 9 avril 2013.....	220
Annexe 16 : Les Serres Lefort - Représentation tabloïde des lots dans le temps.....	230
Annexe 17 : Les Serres Lefort - Prise de données de lumière avec les capteurs d'Onset Computer (Hobo).....	231
Annexe 18 : Spécifications techniques de l'appareil Fluke Ti20 Thermal imager.....	232
Annexe 19 : Spécifications techniques du capteur de lumière PRIVA.....	234
Annexe 20 : Serres Ovation - Lecture sur le plan vertical (prise de données lumière).....	235
Annexe 21 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données pour la prise de données du 26 mars 2013.....	236
Annexe 22 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données pour la prise de données du 26 mars 2013.....	238
Annexe 23 : Serres Ovation - Sommaire des lectures corrigées $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (26 mars 2013) ..	240
Annexe 24 : Serres Ovation - Complexes 1 et 2 - Prises de données du 26 mars et 14 mai 2013.....	242
Annexe 25 : Taux d'absorption de la lumière des feuilles dans le PAR en fonction des longueurs d'onde.....	247
Annexe 26 : Serres Ovation - Définition détaillée des périodes pour le traitement des données.....	248
Annexe 27 : Serres Ovation - Registre des substitutions de tige.....	249

Liste des tableaux

Tableau 1 : Listes des objectifs spécifiques et des activités, et leurs taux de réalisation	15
Tableau 2 : Les Serres Lefort - Dates des traitements	20
Tableau 3 : Les Serres Lefort - Densité du flux photonique photosynthétique anticipé pour Montréal de janvier à juin selon la normale et mesurée en 2013 ^A	20
Tableau 4 : Les Serres Lefort - Ordre d'occurrence des traitements	21
Tableau 5 : Les Serres Lefort - Répartition du flux photonique des luminaires DEL pour la production de laitue.....	22
Tableau 6 : Les Serres Lefort - Dates des prises de données pour évaluer la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL	23
Tableau 7 : Les Serres Lefort - Répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage - Serre 36 - Moyenne globale (lots 1 et 2; début et fin)	24
Tableau 8 : Les Serres Lefort - Répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage - Serre 37 - Moyenne globale (lots 1 et 2; début et fin)	24
Tableau 9 : Les Serres Lefort - Taux de transmission de lumière.....	26
Tableau 10 : Perte de lumière par la réflexion selon l'angle d'incidence d'un rayon lumineux qui frappe la surface d'une paroi.....	27
Tableau 11 : Les Serres Lefort - Évaluation du taux de transmission de la lumière extérieure dans le PAR le 19 juin 2013.....	35
Tableau 12 : Les Serres Lefort - Apport de l'éclairage artificiel selon les parcelles expérimentales pour un même nombre d'heures éclairées	35
Tableau 13 : Les Serres Lefort - Bilan du flux photonique cumulé (mol / m ²) dans le PAR lot 1.....	36
Tableau 14 : Les Serres Lefort - Bilan du flux photonique cumulé (mol / m ²) dans le PAR lot 2.....	37
Tableau 15 : Les Serres Lefort - Moyenne des écarts types et des coefficients de variation pour chaque parcelle éclairée dans la serre 36 et la serre 37 ^A	40
Tableau 16 : Les Serres Lefort - Serre 36, parcelle HPS - Conciliation du flux original d'un luminaire HPS ^A avec l'intensité mesurée.....	41
Tableau 17 : Les Serres Lefort - Serre 36 - Parcelle DEL - Conciliation du flux original d'un luminaire DEL ^A avec l'intensité mesurée.....	42
Tableau 18 : Serres Ovation - Dates des traitements et des prises de données Essais 2013	45
Tableau 19 : Serres Ovation - Calendrier de culture et des traitements	46
Tableau 20 : Serres Ovation - Ordre d'occurrence des traitements (établi de façon aléatoire).....	50
Tableau 21 : Serres Ovation - Complexe 1 - Calendrier et densité de culture	51
Tableau 22 : Serres Ovation - Complexe 2 - Calendrier et densité de culture	51
Tableau 23 : Serres Ovation - Répartition du flux photonique des luminaires DEL pour la production de tomates	52
Tableau 24 : Serres Ovation - Équations pour calculer les heures de début et de fin de l'éclairage artificiel (EA) et la durée totale de l'EA sur une base quotidienne tout en respectant la photopériode fixée à 17 heures par période de 24 h	54
Tableau 25 : Serres Ovation - Densité du flux photonique photosynthétique anticipé pour Montréal de janvier à juin selon la normale et mesurée en 2013 ^A	63
Tableau 26 : Serres Ovation - Évaluation du taux de transmission de la lumière extérieure dans le PAR, le 4 juin 2013.....	63
Tableau 27 : Profil du fonctionnement de l'éclairage de photosynthèse selon le niveau d'ensoleillement.....	65

Tableau 28 : Apport de l'éclairage artificiel selon l'intensité théorique par parcelle expérimentale pour un même nombre d'heures éclairées	66
Tableau 29 : Serres Ovation - Bilan flux photonique cumulé dans le PAR (mol/m ²)	67
Tableau 30 : Serres Ovation - Calendrier associé aux semaines	68
Tableau 31 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars 2013 pour la parcelle DEL ^A	71
Tableau 32 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars 2013 pour la parcelle HPS ^A	71
Tableau 33 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars pour la parcelle DEL ^A	71
Tableau 34 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars pour la parcelle HPS ^A	72
Tableau 35 : Serres Ovation - Parcelle DEL - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire DEL avec l'intensité mesurée	74
Tableau 36 : Serres Ovation - Parcelle HPS - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire A HPS avec l'intensité mesurée	75
Tableau 37 : Serres Ovation - Niveau moyen d'intensité lumineuse obtenu lors des différentes prises données par rapport au niveau théorique à partir du flux original (%)	76
Tableau 38 : Les Serres Lefort - Consigne de chauffe selon la période du jour (°C) et le mois ^A	78
Tableau 39 : Les Serres Lefort - Moyennes de température intérieure de chaque lot comparé aux moyennes de la température et de la radiation solaire extérieures	78
Tableau 40 : Les Serres Lefort - Moyenne des écarts de température des parcelles éclairées vs le témoin pour les deux lots de chacune des serres et selon les périodes du jour avec et sans éclairage	80
Tableau 41 : Les Serres Lefort - Moyenne des températures du feuillage des parcelles éclairées vs le témoin pour chacune des serres ^A	80
Tableau 42 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 36 - Lot 1, 16 février au 11 mars 2013	81
Tableau 43 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 36 - Lot 2, 18 mars au 8 avril 2013	81
Tableau 44 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 37 - Lot 1, 21 février au 17 mars 2013	82
Tableau 45 : Les Serres Lefort - Données climatiques A : serre 37 - Lot 2, 27 mars au 16 avril 2013	82
Tableau 46 : Serres Ovation - Localisation des capteurs de température aérienne à l'intérieur des parcelles	83
Tableau 47 : Serres Ovation - Définition qualitatif des périodes journalières des prises de données	86
Tableau 48 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 15 mars au 29 juin 2013 (période globale)	87
Tableau 49 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 15 mars au 26 mai 2013 (période avec EA)	87
Tableau 50 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 27 mai au 29 juin 2013 (période sans EA)	87
Tableau 51 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 15 mars au 29 juin 2013 (période globale)	88
Tableau 52 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 15 mars au 26 mai 2013 (période avec EA)	88

Tableau 53 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 27 mai au 29 juin 2013 (période sans EA)	88
Tableau 54 : Les Serres Lefort - Calendrier des opérations pour chaque lot	92
Tableau 55 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques du lot 1: poids & gain quotidiens moyens (14 demi-plateaux, 32 plantules).....	99
Tableau 56 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques du lot 2 : Poids & gain quotidiens moyens (14 demi-plateaux, 32 plantules).....	100
Tableau 57 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques lot 1 : poids & gain quotidien (g / m ²).....	101
Tableau 58 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques lot 2 : poids & gain quotidien (g/m ²).....	101
Tableau 59 : Les Serres Lefort - Utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien de poids, lot 1 (g/mole)	105
Tableau 60 : Les Serres Lefort - Utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien de poids, lot 2 (g/mole)	105
Tableau 61 : Les Serres Lefort - Sommaire par lot et par serre de l'utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien en matière sèche et comparaison des ratios d'efficacité du total des gains vs les ratios des gains sur différentiels	106
Tableau 62 : Serres Ovation Ordre d'occurrence des traitements (établi de façon aléatoire) ..	107
Tableau 63 : Serres Ovation Calendrier de culture et des traitements.....	110
Tableau 64 : Serres Ovation - Complexe 1 Calendrier et densité de culture des parcelles expérimentales	111
Tableau 65 : Serres Ovation - Complexe 2 Calendrier et densité de culture des parcelles expérimentale	112
Tableau 66 : Serres Ovation - Complexe 1 Dates d'entrée en production des parcelles selon le traitement d'éclairage artificiel	113
Tableau 67 : Serres Ovation - Complexe 1 Résultats de production par parcelle et traitement Tomates roses de serre (4 demi-rangs de 20 tiges chacun et occupant un total de 24,10 m ²)	114
Tableau 68 : Serres Ovation - Complexe 1 Total de la production hebdomadaire et moyenne mobile de 4 semaines de celle-ci pour la période du 8 avril ^A au 29 juin 2013	116
Tableau 69 : Serres Ovation - Complexe 2 Production cumulée au 7 avril 2013 selon le traitement d'éclairage artificiel.....	117
Tableau 70 : Serres Ovation - Complexe 2 Résultats de production par parcelle et traitement Tomates roses de serre (4 demi-rangs de 20 tiges chacun et occupant un total de 24,10 m ²)	117
Tableau 71 : Serres Ovation - Complexe 2 Total de la production hebdomadaire et moyenne mobile de 4 semaines de celle-ci pour la période du 8 avril ^A au 29 juin 2013.....	119
Tableau 72 : Serres Ovation - Comparaison et estimation du taux d'utilisation de la lumière ajoutée par les luminaires versus la lumière naturelle ^A	120
Tableau 73 : Les Serres Lefort - Puissances mesurée pour le HPS et le DEL	122
Tableau 74 : Les Serres Lefort - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires HPS (simulation).....	124
Tableau 75 : Les Serres Lefort - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires DEL (simulation)	125
Tableau 76 : Serres Ovation - Puissances mesurée pour le HPS et le DEL	127
Tableau 77 : Serres Ovation - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires HPS (simulation).....	129

Tableau 78 : Serres Ovation - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires DEL (simulation)	130
Tableau 79 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Caractéristiques techniques HPS.....	133
Tableau 80 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel HPS (108 luminaires de 750 W)	133
Tableau 81 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour le coût de l'entrée électrique HPS.....	133
Tableau 82 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique.....	134
Tableau 83 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Caractéristiques techniques DEL (Smart Bar)	134
Tableau 84 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel DEL (360 luminaires de 203 W)	135
Tableau 85 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour le coût de l'entrée électrique HPS.....	135
Tableau 86 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique DEL.....	135
Tableau 87 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Investissement initial pour un système d'EA HPS et coût de l'amortissement par luminaire et par m ² (108 luminaires de 750 W)	136
Tableau 88 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Investissement initial pour un système d'EA DEL et coût de l'amortissement par luminaire et par m ² (360 luminaires de 203 W)	136
Tableau 89 : Les Serres Lefort - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire HPS et par m ²	137
Tableau 90 : Les Serres Lefort - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire DEL et par m ²	138
Tableau 91 : Les Serres Lefort - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage HPS ^A	139
Tableau 92 : Les Serres Lefort - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage DEL avec lentille ^A	139
Tableau 93 : Les Serres Lefort - Comparaison du coût annuel d'utilisation par m ² HPS vs DEL avec lentille vs DEL sans lentille ^A	139
Tableau 94 : Les Serres Lefort - Critères techniques spécifiques aux programmes de culture pour des plantules de laitues et servant à établir une marge brute	142
Tableau 95 : Les Serres Lefort - Évaluation de la marge brute en \$/m ² et par rotation pour la production de plantules de laitue selon 3 scénarios d'éclairage artificiel	143
Tableau 96 : Les Serres Lefort - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chaque mode d'éclairage artificiel utilisée pour la production de plantules de laitue.....	143
Tableau 97 : Serres Ovation - Complexe 2 Caractéristiques techniques HPS.....	144
Tableau 98 : Serres Ovation - Complexe 2 Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel HPS (480 luminaires de 600 W).....	144
Tableau 99 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour le coût de l'entrée électrique HPS.....	145
Tableau 100 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique.....	145
Tableau 101 : Serres Ovation - Complexe 2 Caractéristiques techniques DEL (Smart Bar)	146
Tableau 102 : Serres Ovation - Complexe 2 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel DEL ^A (710 luminaires de 234 W)	146
Tableau 103 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour le coût de l'entrée électrique HPS.....	146

Tableau 104 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique DEL	147
Tableau 105 : Serres Ovation - Complexe 2 - Investissement initial pour un système d'éclairage artificiel HPS et coût de l'amortissement par luminaire et par m ² (472 luminaires de 600 W)	148
Tableau 106 : Serres Ovation - Complexe 2 - Investissement initial pour un système d'éclairage artificiel DEL et coût de l'amortissement par luminaire et par m ² (710 luminaires de 234 W)	148
Tableau 107 : Serres Ovation - Complexe 2 - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire HPS et par m ² (472 luminaires de 600 W)	149
Tableau 108 : Serres Ovation - Complexe 2 - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire DEL et par m ² (710 luminaires de 234 W)	149
Tableau 109 : Serres Ovation - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage HPS ^A	150
Tableau 110 : Serres Ovation - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage DEL avec lentille ^A	151
Tableau 111 : Serres Ovation - Comparaison du coût annuel d'utilisation ^A par m ² HPS vs DEL avec lentille et sans lentille	151
Tableau 112 : Serres Ovation - Critères techniques spécifiques aux programmes de culture de tomates roses de serre afin d'établir une marge brute	153
Tableau 113 : Serres Ovation - Évaluation du gain de marge brute en \$/m ² /an pour la production de tomates roses de serre selon 3 scénarios d'éclairage artificiel...	154
Tableau 114 : Serres Ovation - Effets des aménagements de la serre sur la marge contributive lorsque le luminaire DEL est utilisé	155
Tableau 115 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée <i>Serre sans écran thermique</i>	156
Tableau 116 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée <i>Serre avec écran thermique de type 60:40</i>	156
Tableau 117 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée <i>Serre sans écran thermique Luminaire DEL à la tête des plants ou dans la canopée</i>	156

Liste des graphiques

Graphique 1 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 36, lot 1.....	38
Graphique 2 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 36, lot 2.....	38
Graphique 3 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 37, lot 1.....	39
Graphique 4 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 37, lot 2.....	39
Graphique 5 : Serres Ovation - Complexe 2 - Flux photonique parcelle HPS.....	69
Graphique 6 : Serres Ovation - Complexe 2 - Flux photonique parcelle DEL.....	69
Graphique 7 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne mobile 4 semaines de production.....	115
Graphique 8 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne mobile 4 semaines de production.....	118

Liste des schémas

Schéma 1 : Taux de transmission de lumière pour une serre jumelée, pour différentes orientations de la serre, différents mois et différentes heures de la journée.....	28
Schéma 2 : Taux de transmission de lumière (%) pour : différents types de serres, différentes orientations de serres et différentes heures de la journée.....	29
Schéma 3 : Les Serres Lefort - Localisation spatiale (hauteur et orientation) du soleil pour différentes périodes.....	30
Schéma 4 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 3 mars 2013 (période médiane - Serres 36 et 37 - Lot 1).....	31
Schéma 5 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 1er avril 2013 (période médiane - Serres 36 et 37 - Lot 2).....	32
Schéma 6 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 19 juin 2013 (période de prise de données pour évaluer le taux de transmission de lumière).....	33
Schéma 7 : Serres Ovation - Complexe 1 - Vue détaillée des parcelles expérimentales.....	47
Schéma 8 : Serres Ovation - Complexe 2 - vue détaillée des parcelles expérimentales.....	48
Schéma 9 : Serres Ovation - Localisation spatiale (hauteur et orientation) du soleil pour différentes périodes.....	59
Schéma 10 : Serres Ovation - Lever et coucher du soleil - 24 avril (période médiane liée au bilan du flux photonique - Complexes 1 et 2).....	60
Schéma 11 : Serres Ovation - Lever et coucher du soleil - 4 juin 2013 (période de prise de données pour évaluer le taux de transmission de lumière des complexes 1 et 2).....	61

Liste des photos

Photo 1 : Les Serres Lefort - Vue aérienne où le dispositif expérimental est localisé	19
Photo 2 : Serres Ovation - Vue aérienne où le dispositif expérimental est localisé	44
Photo 3 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013.....	49
Photo 4 : Serres Ovation - Mesurage de l'intensité lumineuse	56
Photo 5 : Serres Ovation - Complexe 1, le 14 mai 2013, parcelle DEL.....	72
Photo 6 : Serres Ovation - Complexe 1, le 14 mai 2013, parcelle HPS	73
Photo 7 : Serres Ovation - Complexe 1, le 13 mars 2013, parcelle DEL Système d'acquisition de données d'Onset Computer.....	84
Photo 8 : Serres Ovation - Complexe 1, le 13 mars 2013, parcelle DEL Différents capteurs utilisés dans la prise de données	85
Photo 9 : Les Serres Lefort - Plateau utilisé	89
Photo 10 : Les Serres Lefort - Vue d'ensemble des parcelles	90
Photo 11 : Moitié restante d'un plateau récolté	91
Photo 12 : Première vraie feuille prête à émerger	91
Photo 13 : Les Serres Lefort - Le 27 février 2013, Serre 36, lot 1. Semis du 9 février 2013 =18 jours.....	96
Photo 14 : Les Serres Lefort - le 5 mars 2013, Serre 37, lot 1. Semis du 15 février 2013 = 20 jours.....	96
Photo 15 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2.	97
Photo 16 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2. Semis du 11 mars 2013 = 28,2 jours.....	97
Photo 17 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2. Semis du 11 mars 2013 = 28,2 jours.....	98
Photo 18 : Les Serres Lefort - Le 16 avril 2013, Serre 37, lot 2. Semis du 21 mars 2013 = 25,1 jours.....	98
Photo 19 : Les Serres Lefort - Serre 36 - Structure pour la cloison déroulante du côté ouest (par convention ou sud-ouest par rapport au nord géographique	104
Photo 20 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013, jour de récolte	111
Photo 21 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013, parcelle DEL.....	112

1. OBJECTIFS

1.1. Objectif général

L'objectif général de ce projet est d'acquérir des connaissances sur les performances agronomique, énergétique et économique que peuvent procurer les lampes à diodes électroluminescentes (DEL) de technologie récente aux principales cultures maraîchères en serre (tomate et laitue) en conditions réelles de production comme remplacement de la technique traditionnelle d'éclairage aux lampes haute pression de sodium (HPS).

1.2. Objectifs spécifiques

- Dresser le bilan lumineux des DEL et des HPS
Cette étape vise à caractériser intrinsèquement la lumière émise par les DEL et par les HPS. En outre, la quantité de lumière émise dans la zone de radiation photosynthétiquement active (PAR). La lumière mesurée dans le PAR correspond à la lumière utilisée principalement par la plante lors de la photosynthèse. La répartition de la lumière, l'intensité lumineuse ainsi que l'irradiance sont déterminées.
- Évaluer les performances agronomiques engendrées par l'utilisation des lampes DEL versus celles HPS
Les deux types de cultures maraîchères (tomate et salade) sont évalués d'un point de vue agronomique de production en vérifiant les caractéristiques des plants et celles des fruits de chacune des cultures.
- Établir le profil de consommation énergétique des DEL et des HPS
Le profil de consommation énergétique permet de déterminer divers éléments liés à la consommation électrique comme la quantité totale consommée, la puissance d'appel requise et la modulation dans le temps de l'électricité consommée.
- Dresser un bilan économique de l'utilisation des DEL
Ce bilan permet de faire une analyse économique complète qui passe par la détermination des coûts d'investissements nécessaires et de l'association d'un coût aux aspects précédemment évalués.

2. ACTIVITÉS RÉALISÉES¹

Décrire les activités réalisées en fonction des biens livrables listés à l'Annexe C de la convention de contribution financière et du calendrier de réalisation.

Le rapport final du projet qui constitue le dernier livrable à effectuer dans le cadre du projet a été achevé. Les activités associées à l'atteinte de chacun des objectifs spécifiques sont montrées dans le Tableau 1.

Tableau 1 : Listes des objectifs spécifiques et des activités, et leurs taux de réalisation

Objectif spécifique	Activité	% de réalisation
Dresser le bilan lumineux des DEL et des HPS	Établir le protocole	100
	Prise de données de la lumière émise par les lampes (à l'aide de capteurs)	100
	Validation de la localisation du soleil durant la période de production	100
	Validation de la répartition de la lumière	100
	Révision par le comité de suivi	100
Évaluer les performances agronomiques engendrées par l'utilisation des lampes DEL versus celles HPS	Établir le protocole	100
	Attribuer un traitement aux plantes selon le protocole	100
	Prise de données agronomiques (caractéristiques des plants (hauteur du plant, surface foliaire, etc.) et celles des fruits de chacune des cultures (nombre de fruits, classements, poids commercialisables et calibre, etc.)	100
	Révision par le comité de suivi	100
Établir le profil de consommation énergétique des DEL et des HPS	Établir le protocole	100
	Dresser le bilan climatique	100
	Prise de données du voltage et de l'intensité des lampes	100
	Dresser la liste des facteurs influençant l'efficacité des systèmes d'éclairage artificiel	100
	Révision par le comité de suivi	100
Dresser un bilan économique de l'utilisation des DEL	Évaluation des coûts de production et d'investissement des DEL et des HPS	100
	Évaluation du gain de production engendré par l'utilisation des DEL	100
	Produire le rapport final	100

¹ Ce titre correspond à la section « Résultats obtenus et analyses » tel que décrit par le modèle du CDAQ.

Décrire les changements à la réalisation du projet par rapport à ce qui avait été prévu.

Les principales modifications au projet concernent l'échéancier. La date d'acceptation du projet ayant été plus tardive que ce que nous avons initialement prévu, la date de départ de l'expérimentation a été retardée. Toutefois, cela n'a pas retardé la date du livrable final qui est la production du rapport.

Une modification importante qui a été réalisée au protocole concerne l'un des sites de production. En effet, il était initialement prévu de réaliser le projet chez trois producteurs différents (Les Serres Lefort, Serres Ovation, Serres Stéphane Bertrand). Toutefois, les serres Stéphane Bertrand se sont désistées à la dernière minute malgré la signature d'une lettre de participation. Ainsi, il a été décidé de maintenir le projet, mais seulement chez les deux autres producteurs. Pour pallier la problématique, l'expérimentation a été répétée dans deux serres différentes chez les Serres Ovation.

3. RÉSULTATS ET ANALYSE DU PROJET²

Cette section présente les résultats et les analyses en fonction des objectifs spécifiques. Pour chacun des objectifs spécifiques, une sous-section est développée pour chacun des lieux. Chaque lieu à diverses sous-sections qui présentent :

- Les démarches entreprises pour être en mesure d'atteindre l'objectif spécifique;
- Les résultats obtenus;
- Les analyses et les discussions.

² Ce titre correspond à la section « Présenter les résultats obtenus et analyser les résultats obtenus en fonction des objectifs poursuivis et des résultats attendus » tel que décrit par le modèle du CDAQ.

3.1. Dresser le bilan lumineux des DEL et des HPS

Pour effectuer un bilan lumineux, il faut tenir compte des éléments suivants :

- la localisation et les principales caractéristiques de la serre;
- les périodes de mesurage;
- le choix du dispositif expérimental;
- les caractéristiques des systèmes d'éclairage DEL et HPS et des instruments de mesure utilisés;
- la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage;
- le taux de transmission de lumière naturelle dans la serre.

Ces informations permettent d'intégrer adéquatement les résultats obtenus au niveau du bilan lumineux et ainsi pouvoir interpréter de façon juste les différents bilans qui seront présentés dans ce rapport.

3.1.1. Les Serres Lefort

3.1.1.1. Démarche

Localisation et principales caractéristiques

L'entreprise « Les Serres Lefort » est localisée au sud de Montréal au 644 rang Troisième, Sainte-Clotilde-de-Châteauguay (Québec). La latitude et la longitude de l'entreprise sont respectivement de 45,141° Nord et de 73,668° Ouest.

Le dispositif expérimental est localisé dans la serre jumelée 33 à 38. La serre jumelée est composée de six chapelles de 21' x 128'. La hauteur à la gouttière est de 9' et au pignon de 14'. La serre est orientée « Sud-Est - Nord-Ouest » sur l'axe longitudinal de la serre qui est en fait le pignon du toit. Cette orientation est par rapport au nord géographique.

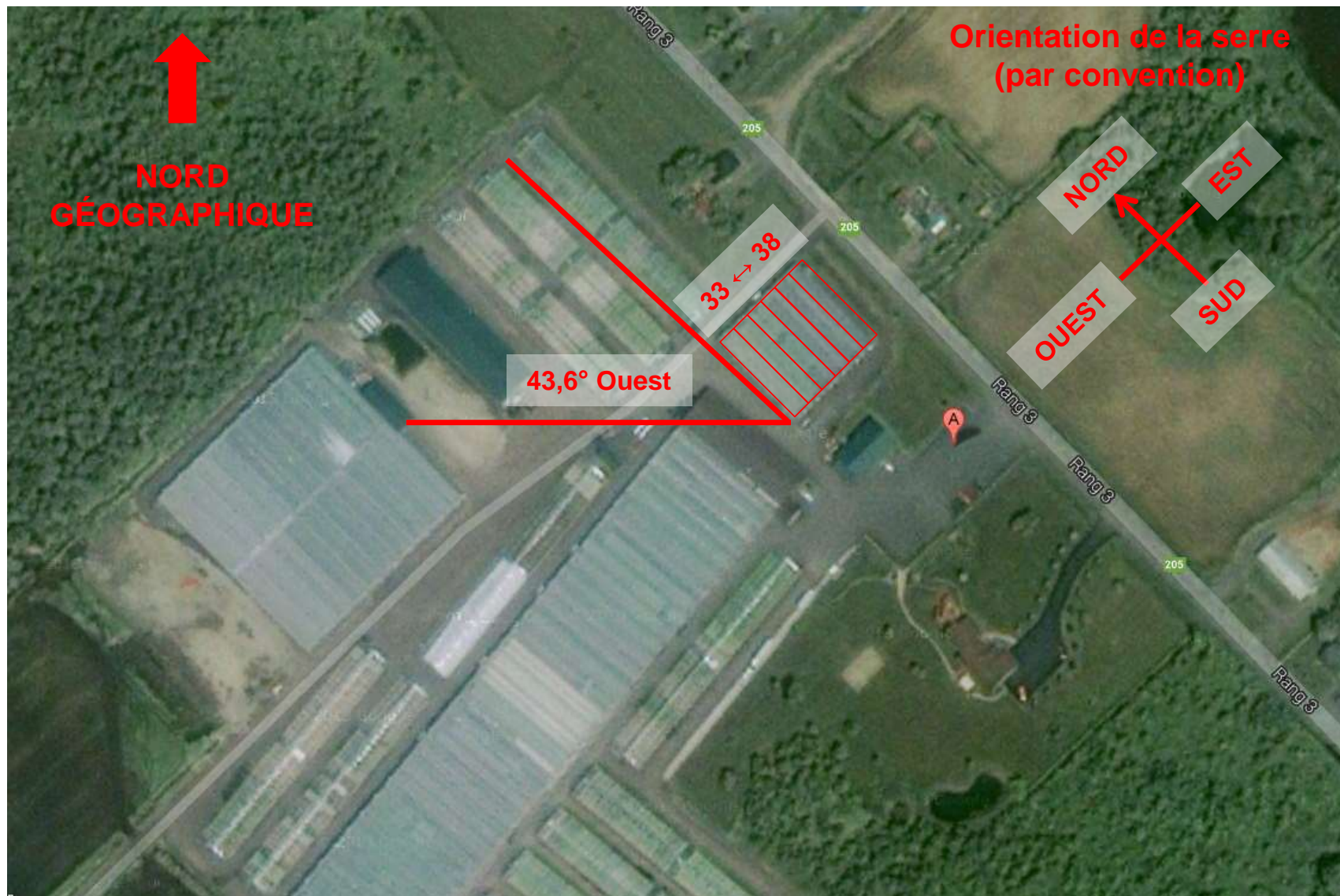
Pour faciliter l'orientation des différentes composantes de la serre, l'orientation de la serre sera par convention « Nord-Sud ». Toutefois, lorsque le rapport présentera la localisation du soleil, celui-ci sera par rapport au nord géographique. La Photo 1 présente une vue aérienne de l'entreprise et de la serre jumelée où le dispositif expérimental est localisé.

Le pourtour de la serre jumelée (chapelles 33 à 38) est isolé jusqu'à 15 cm dans le sol. Le matériel de recouvrement du toit pour chacune des chapelles est le même et il est composé d'un film double en polyéthylène. Les murs « Nord » et « Est » sont isolés et recouverts d'une tôle. Le mur « Ouest » est composé d'un film double en polyéthylène. Finalement, le mur « Sud » est composé en partant du bas vers le haut : 61 cm de tôle avec isolation et la superficie restante jusqu'au pignon du toit de panneaux en polycarbonate.

Il y a un ouvrant au toit sur chaque chapelle un seul des deux côtés. Sur le mur « sud », il y a deux extracteurs d'air par chapelle³. Au niveau de la chauffe, il y a deux fournaies à air chaud qui sont localisées le long du mur « nord » des serres. Des tubes en polyéthylène perforés qui sont rattachés aux fournaies sont localisés sous les tables de production. Ces tubes distribuent la chaleur dans les chapelles.

³ Dimensions : environ 91,4 cm x 91,4 cm

Photo 1 : Les Serres Lefort - Vue aérienne où le dispositif expérimental est localisé



Source : Google. Adaptation : CIDES inc.

Périodes de mesurage

Pour la durée du projet chez Les Serres Lefort, il y a eu deux lots de productions. Ainsi, les prises de données se sont prises en fonction de ces deux lots. Le Tableau 2 présente les principales dates de début et de fin de chaque lot où le mesurage a été complié.

Tableau 2 : Les Serres Lefort - Dates des traitements

	Lot 1		Lot 2	
	Serre 36	Serre 37	Serre 36	Serre 37
Début	16-février	21-février	18-mars	27-mars
Fin	12-mars	18-mars	09-avril	16-avril

Le Tableau 3 donne une estimation de la densité normale du flux photonique photosynthétique pour Montréal selon les mois.

Tableau 3 : Les Serres Lefort - Densité du flux photonique photosynthétique anticipé pour Montréal de janvier à juin selon la normale et mesurée en 2013 ^A

Mois	Longueur des jours	DFPP ^{A C}	DFPP ^A	DFPP ^A
		normale à l'extérieur de la serre	à l'intérieur de la serre ^B	moyenne
	(h)	(mol m ⁻² d ⁻¹)	(mol m ⁻² d ⁻¹)	(μ m ⁻² s ⁻¹)
Février	10,3	15,1	10,5	283
Mars	11,7	25,0	17,5	415
Avril ^C	12,0	32,0	22,4	532

^A Densité du flux photonique photosynthétique.

^B Valeurs anticipées si le taux de transmission de lumière naturelle dans la serre est de 70 %.

^C Neuf (9) premiers jours d'avril.

^D DLI lumière naturelle : moyenne des années 1980 à 2008 pour Montréal, tiré de la présentation : Our Lighting Experiences in Québec Martine Dorais, PhD., AAFC researcher and adjunct professor, Horticultural Research Centre, Laval University, Québec.

Choix du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est localisé dans les serres 36 et 37. Ces serres sont dédiées à la production de plantules de laitues Boston. La durée de culture est d'environ 30 jours (selon la saison) et ils sont par la suite transférés dans des serres de finition utilisant des bassins.

Le dispositif expérimental comporte 3 parcelles d'égales dimensions 6,1 m par 6,4 m (20 pi x 21 pi). Le lecteur peut voir la Photo 10 à la page 90. Il y a une zone tampon de 6,1 m entre chacune des parcelles. Le dispositif totalise donc 30,5 m de long (5' x 20'). Chacune des parcelles occupe la largeur de la serre et est délimitée à partir du centre de la lampe HPS pour aller au centre de la lampe HPS suivante (20 pieds). Voir la présentation du dispositif expérimental à l'Annexe 1. La parcelle 1 débute donc à environ 30 pieds du trottoir du bout de la serre (côté bureau où sud). Chaque parcelle est divisée en deux par une allée d'environ 2 pieds de large. Les tables sur lesquelles les plateaux ont donc 9 pieds de large.

Il a été décidé avec le producteur de ne pas isoler les serres adjacentes par un rideau opaque à cause que la moitié « Ouest » de la serre recevrait au moins 2 heures d'ensoleillement direct en plus et que la partie « Sud » n'aurait aucun ensoleillement direct. Ceci créerait une quantité d'éclairage naturelle très différente pour chaque moitié de serre et par le fait même une récolte trop inégale pour le producteur.

Les traitements d'éclairage artificiel ont été disposés de façon semblable dans chaque serre afin de minimiser la pollution lumineuse dans chaque traitement. L'éclairage artificiel dans les serres avoisinantes 35 et 38 a été inactivé. Cette solution a donc été préférée au mur ombrageant qui avait un plus grand impact sur la quantité de lumière naturelle reçue dans les parcelles que l'apport provenant de l'éclairage artificiel. Sur le plan aléatoire, cette disposition a une chance d'occurrence de 1/9. Le Tableau 4 présente l'ordre d'occurrence des traitements.

Tableau 4 : Les Serres Lefort - Ordre d'occurrence des traitements

	Serre 36	Serre 37
Parcelle 1	Lampes HPS	Lampes HPS
Parcelle 2	Lampes DEL	Lampes DEL
Parcelle 3	Témoin sans éclairage	Témoin sans éclairage

Caractéristiques techniques des lampes HPS et DEL et traitements

1) Éclairage HPS

Le traitement avec éclairage HPS a utilisé tel quel le système d'éclairage en place chez le producteur. Les lampes HPS sont du modèle suivant : MASTER SON-T PIA Plus - 750 W de la compagnie Philips. Les spécifications techniques sont présentées à l'annexe B. Le lecteur trouvera dans les points suivants les principales caractéristiques liées au montage du système d'éclairage artificiel HPS.




- Distance entre les lampes 6,1 m sur l'axe longitudinale de la serre.
- Distance entre les lampes 3,3 m sur l'axe transversale de la serre et à 1,4 m des gouttières.
- Distance entre la table et le luminaire : 2,7 m.
- Densité d'éclairage : une lampe de 750 Watts par 19,5 m² ou 38,4 Watts / m²
- Intensité lumineuse dans le PAR mesurée au niveau de la table le 21/12/2012 : 50,8 µm/m²/sec.
- Durée de l'éclairage 18 heures par jour (initié 45 minutes après le lever du jour).

2) Éclairage DEL

Les lampes DEL sont du modèle suivant : Lampe TI SmartBar de la compagnie LED Innovation Design. Les spécifications techniques sont présentées à l'Annexe 7.

Les caractéristiques techniques choisies du profil du flux pour les luminaires DEL pour la culture de la laitue sont présentées dans le Tableau 5. Le profil de la répartition des longueurs d'onde des luminaires DEL a été conçu pour optimiser l'action photosynthétique et la performance des cultures faisant l'objet de ces essais.

Tableau 5 : Les Serres Lefort - Répartition du flux photonique des luminaires DEL pour la production de laitue

Composition des photons (%)	Longueur d'onde (nm)	Échantillon
46	660 (rouge profond)	
43	640 (rouge)	
11	425 (bleu royal)	

Finalement, le lecteur trouvera dans les points suivants les principales caractéristiques liées au montage du système d'éclairage artificiel DEL.

- Sur la longueur, 2 barres de 3,66 m (12 pi) de long. Il y a donc dépassement de 0,6 m (2 pi) de chaque côté de la parcelle expérimentale pour garder une intensité lumineuse égale sur la pleine longueur de la parcelle (6,1 m) pour représenter la condition de la serre éclairée au complet avec le DEL.
- Distance de la première barre à partir de la gouttière 0,6 m et entre les deux barres 1,6 m. On répète la même disposition de l'autre côté de l'allée centrale (voir l'Annexe 1 et l'Annexe 5).
- Distance entre la table et le luminaire : environ 2,5 m. L'intensité des barres DEL est légèrement inférieure au HPS à cause de l'ajout de lentille, mais se compare avec celle

des lampes HPS. La lentille réduit l'émission de lumière des DEL au niveau des plants de 17 %.

- Superficie d'éclairage couverte par une barre de 3,7 m (12 pi) avec lentille de diffusion couvre : 5,9 m² (voir l'Annexe 5)
- Puissance électrique par barre 3,7 m (12 pi) : 203 Watts ou 34,7 W/m².
- Intensité lumineuse dans le PAR : à environ 46,1 µm/m/sec.
- Durée de l'éclairage 18 heures par jour initiée à 9 h 00 en avant-midi.

3) Sans éclairage artificiel

- Dimension de 6,1m par 6,4 m (20 pi x 21 pi).

Répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL

Des mesures de lumière ont été effectuées pour évaluer la lumière reçue des systèmes d'éclairage artificiel au niveau des plateaux dans les serres 36 et 37.

Les plateaux choisis au niveau du bilan agronomique ont servis également à mesurer l'apport des systèmes d'éclairage artificiels. Les plateaux ont été choisis de façon aléatoire selon les règles de l'art pour les deux serres et les deux lots (lot 1, lot 2). La localisation de ces plateaux est présentée à l'Annexe 8.

Il y a eu quatre prises de données de lumière. Elles ont été effectuées le soir. Le Tableau 6 présente les dates où les prises de données ont eu lieu.

Tableau 6 : Les Serres Lefort - Dates des prises de données pour évaluer la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL

Lot	Début	Fin
1	27 février 2013	19 mars 2013
2	19 mars 2013	9 avril 2013

Le capteur de lumière dans le PAR utilisé pour évaluer la répartition de la lumière est de la compagnie Li-Cor (modèle : Li-193). Ce capteur permet d'évaluer le flux de photon provenant de toutes les directions dans le PAR et les valeurs obtenues sont plus représentatives ce qu'une plante peut recevoir comme lumière. Le lecteur trouvera à l'Annexe 9 les spécifications de ce capteur.

À l'origine, quatre capteurs de lumière de la compagnie Onset Computer (capteur Hobo) devaient être utilisés pour effectuer le bilan de lumière. Cependant, il a été jugé non viable, car un seul capteur était localisé par parcelle. Ainsi, les données recueillies par ses quatre capteurs n'ont pas été jugées représentatives de l'ensemble de la superficie (voir les résultats à l'Annexe 17). De plus, les opérations de production qui se déroulaient dans les serres ont pu affecter les lectures (exemple : capteur déplacé qui n'était plus à niveau). Toutefois, ces données ont permis de valider les heures d'éclairage. Le type de capteur, le nombre de capteurs et leurs dispositions ne représentaient adéquatement le flux photonique émis par les systèmes d'éclairage artificiel DEL et HPS.

Une prise de données a été effectuée au début et à la fin des lots 1 et 2. Ainsi, le Tableau 7 et le Tableau 8 présentent le sommaire des résultats de ses prises de données pour évaluer la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage des serres 36 et 37. Ce sont ces données ont permis de l'apport de l'éclairage artificiel dans chacune des parcelles expérimentales. Les données mesurées et détaillées des serres 36 et 37, et des lots 1 et 2 (début et fin) sont présentées à l'Annexe 10.

Tableau 7 : Les Serres Lefort - Répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage - Serre 36 - Moyenne globale (lots 1 et 2; début et fin)

Traitement	HPS	DEL	Témoin ^A	Différence ^B
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	%
Moyenne	51,5	46,7	3,5	-9%
Valeur maximale	61,0	54,3	5,2	s/o
Valeur minimale	40,6	42,1	2,6	s/o
Écart-type	7,1	3,6	0,7	s/o
Coefficient de variation ^C	14%	8%	20%	-44%

^A Ces valeurs présentent la pollution lumineuse engendrée par les lampes HPS environnantes.

^B Différence = (DEL - HPS) / HPS x 100 pour chacune des lignes du tableau.

^C C'est le rapport entre l'écart-type et la moyenne.

Tableau 8 : Les Serres Lefort - Répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage - Serre 37 - Moyenne globale (lots 1 et 2; début et fin)

Traitement	HPS	DEL	Témoin ^A	Différence ^B
	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	%
Moyenne	50,1	45,4	2,9	-9%
Valeur maximale	60,9	59,3	4,9	s/o
Valeur minimale	36,7	37,5	2,0	s/o
Écart-type	7,4	5,6	0,9	s/o
Coefficient de variation ^C	15%	12%	30%	-17%

^A Ces valeurs présentent la pollution lumineuse engendrée par les lampes HPS environnantes.

^B Différence = (DEL - HPS) / HPS x 100 pour chacune des lignes du tableau.

^C C'est le rapport entre l'écart-type et la moyenne.

Les valeurs présentées dans la colonne « Témoin » représentent la pollution lumineuse qui provenait des lampes HPS environnantes. Ces valeurs ont été tenues en compte lors de l'évaluation du bilan lumière.

Taux de transmission de lumière naturelle des serres

Le taux de transmission de lumière naturelle des serres au niveau de la canopée est fonction des éléments suivants :

- L'aménagement de la serre (exemple : mur intérieur de couleur blanc lustré).
- L'effet d'ombrage causé par la structure de la serre et ses composantes (exemples : le système d'éclairage artificiel, les écrans thermiques).
- L'état du matériel de recouvrement lorsque la serre est utilisée (exemple : double film en polyéthylène mal gonflé).
- L'orientation de la serre.
- La condensation sur le matériel ou encore entre les films.
- La localisation du soleil selon la période de l'année et du jour.
- La part du rayonnement diffus et direct.
- La saleté accumulée ou encore l'usure du matériel de recouvrement.
- Le nombre de films utilisé comme matériel de recouvrement (exemples : simple film en polyéthylène, double film en polyéthylène).
- Le profil et l'inclinaison du toit.
- Le type, l'épaisseur et le taux de lumière transmis dû à l'absorption et à la réflexion par le matériel de recouvrement de la serre.

Évidemment, le but du projet n'est pas de quantifier ou de qualifier chacun de ses éléments. Cependant, la question de la localisation du soleil sera abordée après cette sous-section.

Aussi, le taux de transmission de lumière naturelle des serres 36 et 37 a été évalué. Chaque serre a son propre taux de transmission de lumière. Ce taux va affecter la lumière naturelle reçue par les plants. Il faut en tenir compte lors du bilan agronomique. De plus, ceci a un impact sur la façon d'évaluer l'économique.

Les données recueillies pour les évaluer ces taux ont été réalisées le 19 juin 2013 avec le Li-Cor (appareil utilisé pour évaluer la répartition de la lumière). L'appareil a été calibré en utilisant les données théoriques provenant du site « Clear Sky Calculator⁴ ».

Ce calculateur détermine l'intensité du rayonnement tombant sur une surface horizontale à n'importe quel moment de la journée dans n'importe quel endroit dans le monde. Ce calculateur permet de déterminer la nécessité de recalibrer les capteurs de lumière. Il est plus précis lorsqu'il est utilisé près du midi solaire pendant les mois d'été. Ce qui a été réalisé. Le calculateur peut servir pour des capteurs de type pyranomètre ou quantum⁵.

En comparant les données des capteurs de lumière provenant du Li-Cor entre l'extérieure de la serre et l'intérieure de la serre, les taux de transmission brute ont été évalués. Les données de lumière extérieure ont été prises sur le gazon à 100 pieds des bâtiments avec le capteur à la verticale au-dessus de la tête. Les données de lumière intérieure ont été prises à la hauteur des

⁴ www.clearskycalculator.com

⁵ Un capteur « Pyranomètre » mesure l'énergie de la bande spectrale qui couvre tout le rayonnement de 280 à 2800 nm. Toutefois, 90% de l'énergie solaire est comprise entre 300 et 1 100 nm. Cette bande spectrale de 300 à 1100 nm est appelé « shortwave radiation ». La plupart des capteurs « Pyranomètre » mesure seulement le flux photonique dans le « shortwave radiation », mais ils sont calibrés pour évaluer la bande spectrale de 280 à 2800 nm. Un capteur « Quantum » mesure l'énergie de la bande spectrale qui couvre tout le rayonnement de 400 à 700 nm.

plateaux dans les parcelles DEL (serres 36 et 37) pour obtenir une lecture maximum pour minimiser l'ombragement causé par les infrastructures (recherche sur 46 cm tous azimuts du point avec lecture maximum). Pour tenir compte de l'effet des infrastructures sur l'ensemble des parcelles et selon la période de la journée, les taux de transmission de lumière brute des serres 36 et 37 ont été diminués de 6 %. Le lecteur trouvera à l'Annexe 11 le détail des prises de données.

Le Tableau 9 présente les taux de transmission de la lumière naturelle des serres 36 et 37.

Tableau 9 : Les Serres Lefort - Taux de transmission de lumière

Serres 36	Serres 37
%	%
56,5	57,5

En tenant compte des résultats de la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL, du taux de transmission de lumière, des données de lumière extérieure⁶ et des facteurs d'ajustement pour tenir compte des caractéristiques des différents capteurs de lumière (exemples : types de capteur, données Clear Sky), il a été possible d'effectuer le bilan de lumière. Les données détaillées des serres 36 et 37 sont présentées à l'Annexe 12 et les résultats sont présentés après la section « Localisation du soleil ».

Localisation du soleil

Pour être en mesure d'analyser et d'interpréter adéquatement les résultats du bilan lumineux, il faut prendre connaissance de la localisation spatiale du soleil lors du projet. En effet, la localisation du soleil va influencer la quantité de lumière naturelle reçue par la serre et la production, mais aussi le taux de transmission de lumière naturelle des serres. Les tableaux et schémas suivants sont présentés pour mieux comprendre l'effet de la localisation du soleil dans le temps sur le taux de transmission de lumière naturelle d'une serre individuelle ou jumelée.

Le Tableau 10 présente la perte de lumière selon l'angle d'incidence d'un rayon lumineux qui frappe la surface d'une paroi. Ceci démontre que le taux de transmission de lumière naturelle d'une serre va varier selon les saisons et les journées. Ce taux de transmission de lumière naturelle est important pour la production lors des périodes automnale, hivernale et printanière. Généralement, l'été n'est pas une saison où l'intensité du soleil par rapport au besoin des plants est déficitaire, si le beau temps est bien sûr au rendez-vous.

⁶ Ces données proviennent du capteur de lumière extérieure PRIVA des Serres Lefort l'entreprise.

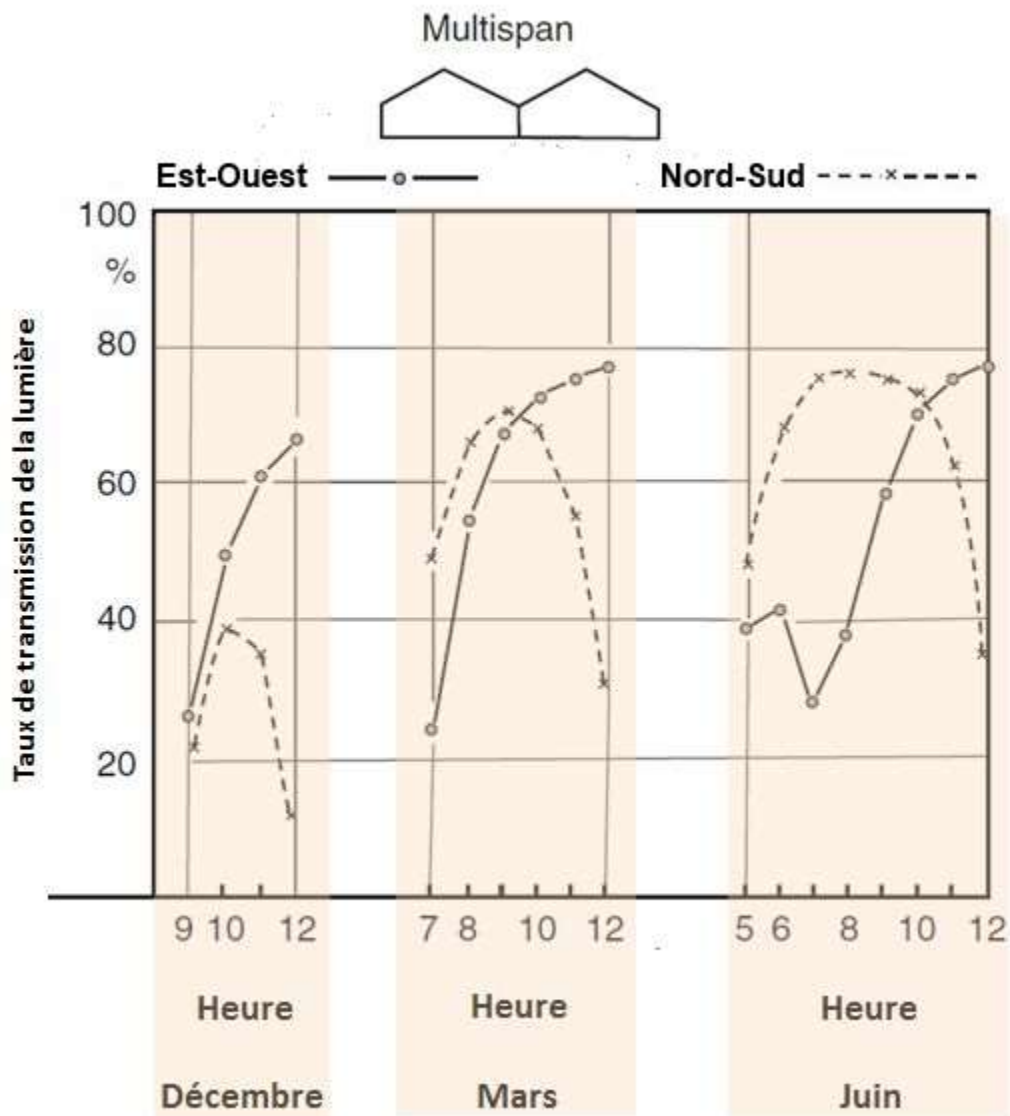
Tableau 10 : Perte de lumière par la réflexion selon l'angle d'incidence d'un rayon lumineux qui frappe la surface d'une paroi

Angle d'incidence (°)	Perte de lumière (%)
90	0
60	2,7
50	3,4
40	5,7
30	11,2
20	22,2
15	30,0
10	41,2

Source : Note de cours ITA de Saint-Hyacinthe - Jean-Marc Boudreau, ing.

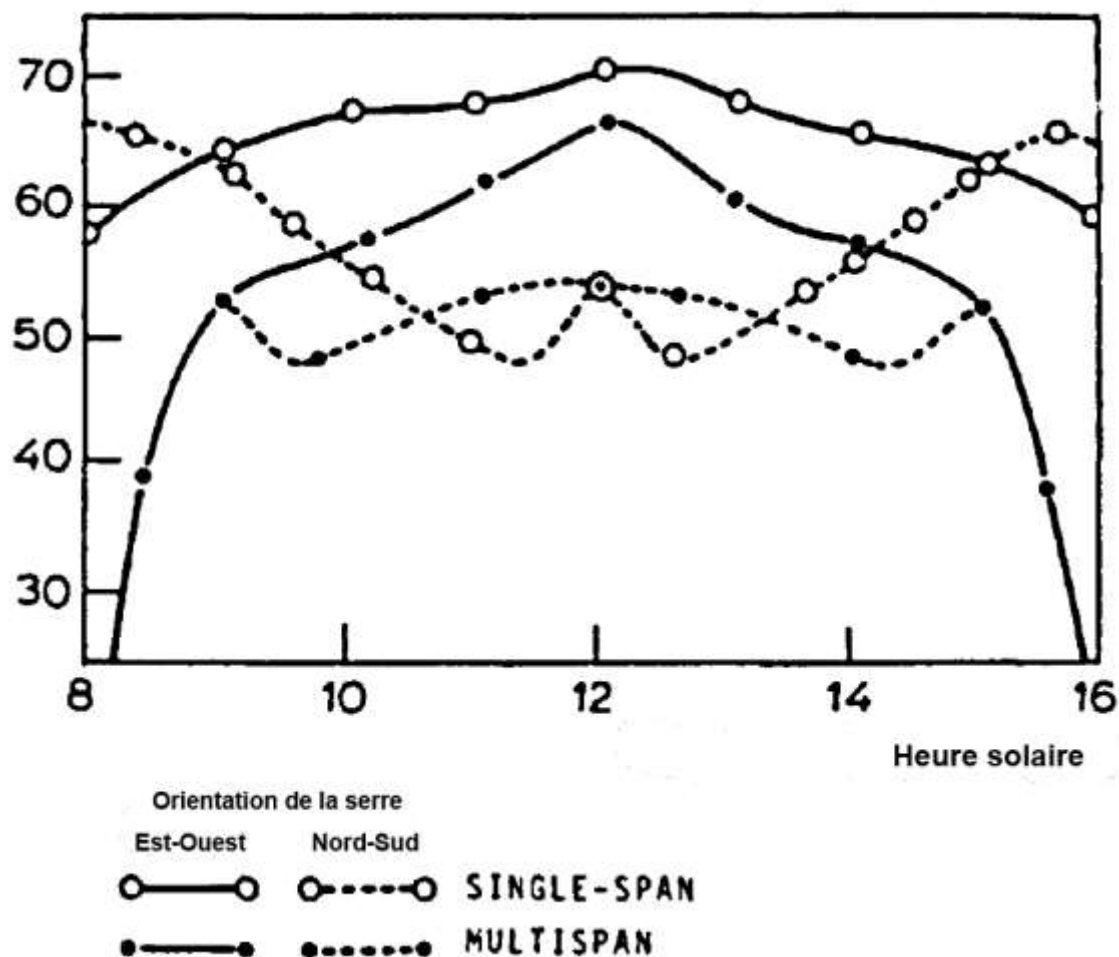
Les résultats présentés dans le Tableau 10 se reflète concrètement dans le Schéma 1 et le Schéma 2. Ceux-ci présentent le taux de transmission de lumière pour différents types de serres, pour différents mois et différentes heures de la journée.

Schéma 1 : Taux de transmission de lumière pour une serre jumelée, pour différentes orientations de la serre, différents mois et différentes heures de la journée



Source : Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates - Ed. Springer (2011), Adaptation : CIDES inc.

Schéma 2 : Taux de transmission de lumière (%) pour : différents types de serres, différentes orientations de serres et différentes heures de la journée

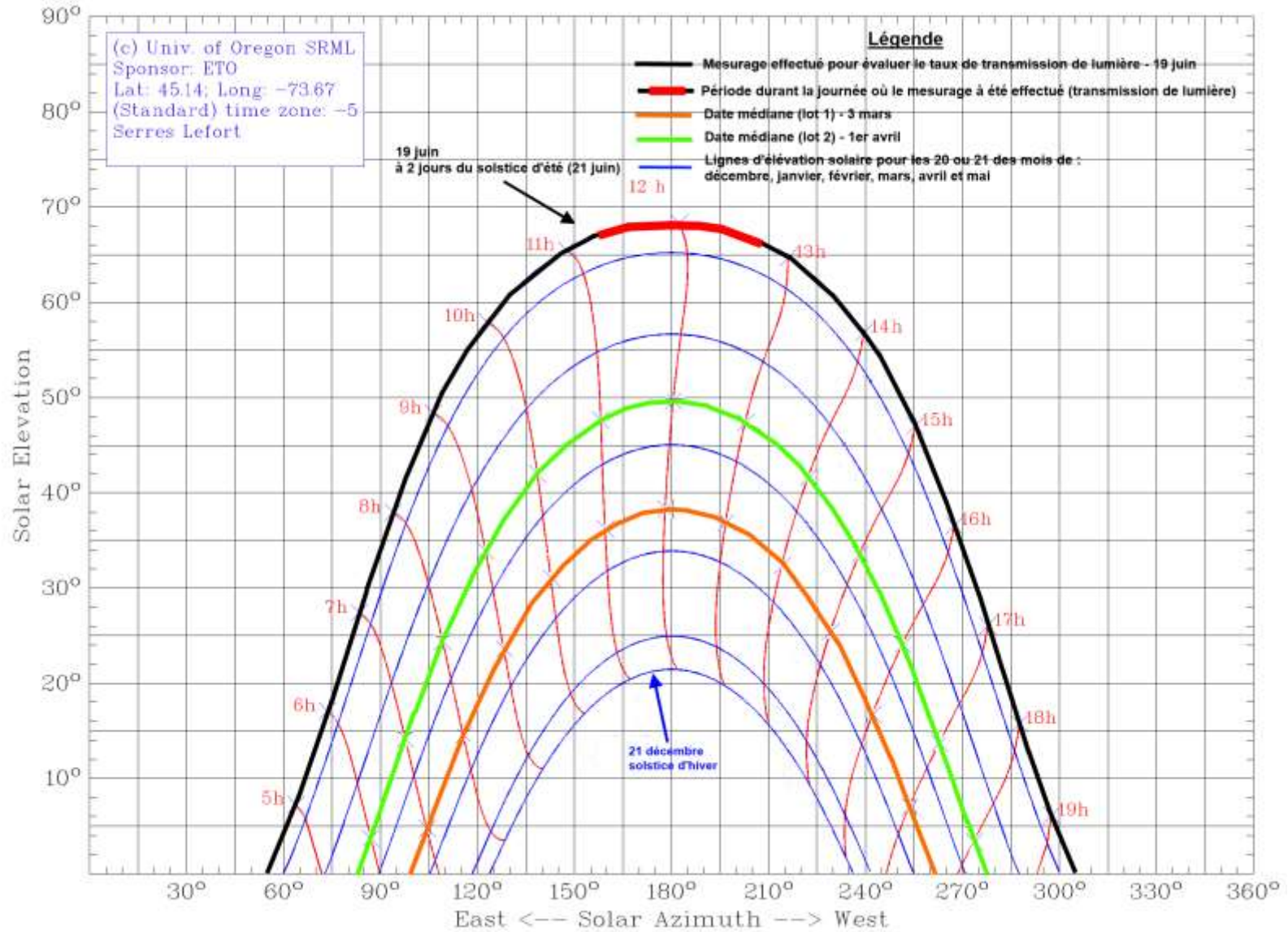


Source : Light transmission and photosynthesis in greenhouses, Ed. Wageningen (1978) , Adaptation : CIDES inc.

Il faudrait idéalement mesurer en continu (jour par jour, heure par heure) le taux de transmission naturelle. Dans la pratique, cette tâche demeure une utopie, car il serait difficile de le faire pour des raisons techniques et financières. Ainsi, il a été décidé de prendre le taux de transmission de lumière naturelle à la date du 19 juin tout en tenant compte de l'effet de la localisation du soleil dans le temps lors des calculs, des analyses et des interprétations des résultats des différents bilans.

Le Schéma 3 présente la localisation spatiale du soleil chez Les Serres Lefort pour différentes périodes (exemple : périodes médianes des lots 1 et 2), lors de la prise de données pour calibrer le Li-Cor et pour évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des serres 36 et 37.

Schéma 3 : Les Serres Lefort - Localisation spatiale (hauteur et orientation) du soleil pour différentes périodes ⁷

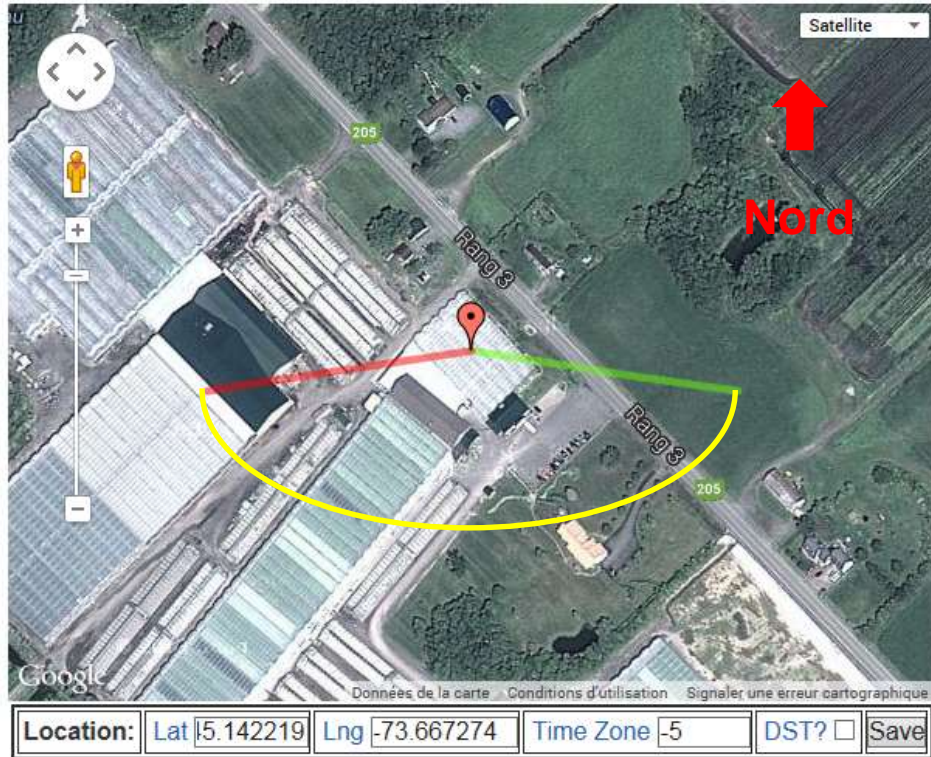


Note : UO Solar Radiation Monitoring Laboratory, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

⁷ Le 19 juin 2013, l'élévation maximale est de 68,28° vers 11 h 56 (heure normale).

Les schémas suivants (Schéma 4, Schéma 5 et Schéma 6) présentent le lever et le coucher du soleil pour différentes périodes.

**Schéma 4 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 3 mars 2013
(période médiane - Serres 36 et 37 - Lot 1)**

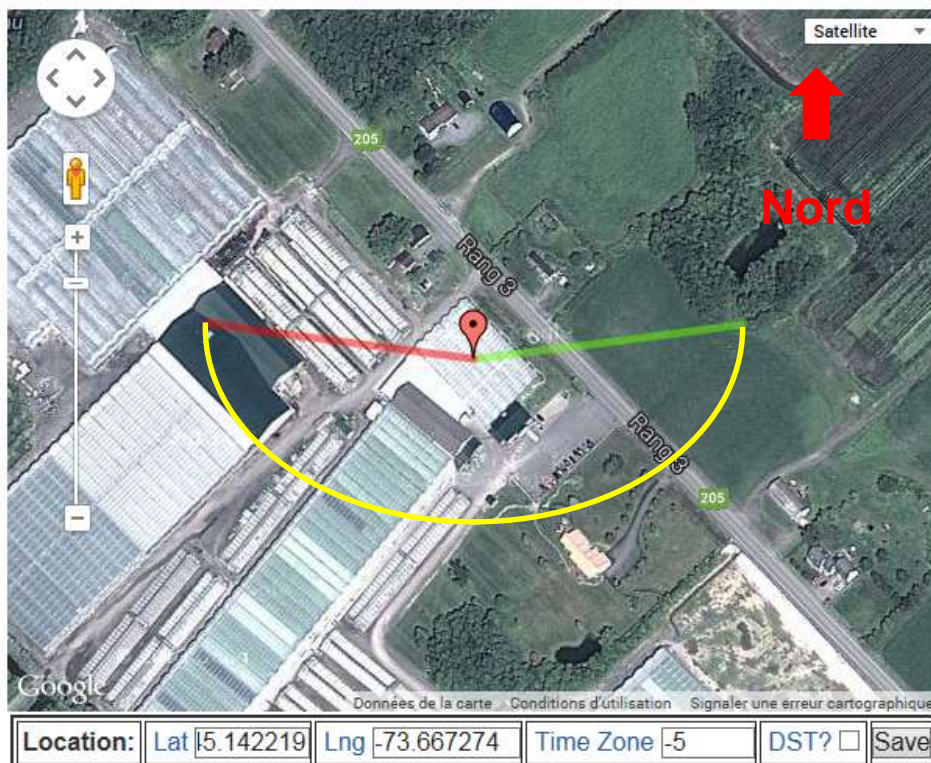


Date: Day 3 Mon Mar Yr 2013 Local Time: 00 : 00 : 00 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/EI (in °) at Local Time:	
-11.84	-6.57	06:29	12:06:31	17:45	177.94	38.29
Show on map:		Sunrise <input checked="" type="checkbox"/>		Sunset <input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth <input type="checkbox"/>	

Source : NOAA Solar Calculator, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

**Schéma 5 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 1er avril 2013
(période médiane - Serres 36 et 37 - Lot 2)**

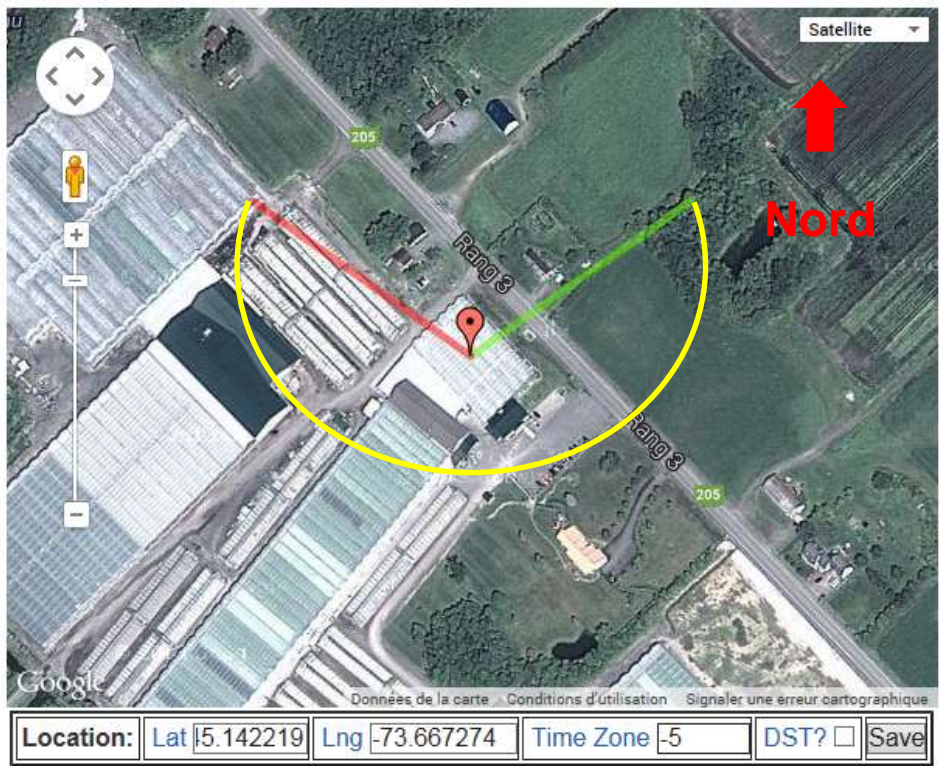


Date: Day 1 Mon Apr Yr 2013 Local Time: 00 : 00 : 00 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/EI (in °) at Local Time:	
-3.73	4.79	05:35	11:58:24	18:23	180.61	49.66
Show on map:		Sunrise <input checked="" type="checkbox"/>		Sunset <input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth <input type="checkbox"/>	

Source : NOAA Solar Calculator, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

Schéma 6 : Les Serres Lefort - Lever et coucher du soleil - 19 juin 2013
 (période de prise de données pour évaluer le taux de transmission de lumière)



Date: Day 19 Mon Jun Yr 2013 Local Time: 00 : 00 : 00 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/EI (in °) at Local Time:	
-1.44	23.43	04:07	11:56:06	19:45	182.41	68.28
Show on map:		Sunrise <input checked="" type="checkbox"/>		Sunset <input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth <input type="checkbox"/>	

Source : NOAA Solar Calculator, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

3.1.1.2. Résultats, analyses et discussions

Le bilan lumineux de chacun des lots a été établi en mole de lumière par mètre carré pour le rayonnement dont les longueurs d'onde se situent entre 400 et 700 nm. Ce rayonnement est désigné comme étant le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA en français, ou PAR en anglais). Il quantifie un nombre de photons et non une quantité d'énergie. L'activité de photosynthèse est fonction de la quantité des photons reçus et l'efficacité photosynthétique fluctue selon les longueurs d'onde de ces photons.^{8 9}

Périodes couvertes par les bilans lumineux

Tel qu'indiqué dans le Tableau 13 et le Tableau 14, le bilan lumineux a été pour une durée de temps qui a fluctué de 25,2 à 20,1 jours selon les lots produits (4). La période d'accumulation de la lumière pour chacun des lots a débuté 6 à 5 jours après que le semis eut été fait, l'entreprise n'utilisant pas de chambre de semis; le choix de cette période permet d'apparier la période d'accumulation de lumière à la période de croissance des plantules en gardant à l'écart le stage de germination et d'émergence du semis. Les tableaux pour les données par jour du Tableau 13 et du Tableau 14 se retrouvent à l'Annexe 12.

Radiations à l'extérieur de la serre

Les données recueillies pour les radiations à l'extérieur de la serre et rapportées dans le Tableau 13 et le Tableau 14. Elles peuvent être considérées comme fiables selon les auteurs du rapport (voir la section 3.1.1.1). Les moyennes quotidiennes des radiations reçues ont été en général sous la normale et particulièrement durant le 2^{ème} lot de la serre 37; cela est bien apparent dans le Graphique 4 durant la période du 7 au 14 avril.

Radiations à l'intérieur de la serre

Le montage expérimental initial pour faire le bilan lumineux s'est avéré inadéquat pour mesurer de façon cohérente la lumière transmise de l'extérieure et encore plus pour ce qui est de l'apport de l'éclairage artificiel. La cohérence des résultats entre les parcelles ne pouvait être obtenue avec cette méthode de mesurage (voir section 3.1.1.1).

Un pourcentage de transmission s'appliquant sur la radiation extérieure a donc été utilisé pour calculer la radiation dans le PAR disponible dans la serre pour la culture. En prenant comme hypothèse que la quantité de lumière naturelle transmise dans les trois parcelles expérimentales d'une même serre était très semblable, cette procédure pour obtenir la radiation intérieure élimine la variance des résultats provenant de la méthode de mesurage prévue initialement et favorise surtout une cohérence pour l'analyse des résultats.

Les taux de transmission, pour les serres 36 et 37 dans le Tableau 11 ci-dessous, ont été mesurés et évalués le 19 juin 2013 lors d'une journée pleinement ensoleillée.

⁸ <http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=content/1-2-2-chlorophyll-absorption-and-photosynthetic-action-spectra>

⁹ Annexe 6, fiche technique GE, Graphique : *Spectral power distribution, Plant sensitivity curve.*

Tableau 11 : Les Serres Lefort - Évaluation du taux de transmission de la lumière extérieure dans le PAR le 19 juin 2013

	Serre 36	Serre 37
Taux de transmission	56.5 %	55.5 %

Le lot 1 ayant été réalisé du 15 février au 15 mars et le lot 2 du 19 mars au 16 avril, il est fort probable que le taux de transmission eut été plus faible, étant donné que l'élévation maximale du soleil le 19 juin était de 68,28 degrés comparés à 50,2 degrés le 2 avril et 39,6 degrés le 2 mars (date médiane des lots; voir le Schéma 3). À cette période, le taux de transmission pour cette serre devrait sans doute se situer aux environs de 50 %. À l'aide du ratio grammes de matière sèche produite par mole de lumière, on pourrait peut-être détecter cela malgré que la durée de culture fût différente selon les lots.

Le programme d'éclairage artificiel et son apport au bilan lumineux

Le programme d'éclairage artificiel était de 18 heures par jour débutant à 9h00 l'avant-midi et se terminant à 3h00 durant la nuit. La contribution de l'éclairage artificiel au bilan lumineux a été comptée telle que présentée dans le Tableau 12 et selon le nombre d'heures d'éclairage reçu à chaque journée.

Tableau 12 : Les Serres Lefort - Apport de l'éclairage artificiel selon les parcelles expérimentales pour un même nombre d'heures éclairées

	Unité	Serre 36		Serre 37	
		HPS	DEL	HPS	DEL
Intensité mesurée ^A	µmol/m ² /s	51,5	46,7	50,1	45,4
Apport lumineux : 1 heure d'EA	mol/m ² /h	0,185	0,168	0,180	0,164
Apport lumineux : 18 heures d'EA	mol/m ² /j	3,34	3,03	3,25	2,94

^A Moyenne de 4 mesurages localisés selon les 14 plateaux choisis au hasard pour le mesurage agronomique (voir section 3.1.1.1).

Pour la parcelle témoin, les moles de lumière provenant de l'éclairage artificiel sont l'effet de la pollution lumineuse de l'éclairage HPS des superficies voisines. Pour la serre 36, les 14 plateaux qui servaient d'échantillons ont reçu également 9 heures de plein éclairage avec les luminaires HPS. Les luminaires DEL ne faisaient pas de pollution dans les autres parcelles à cause de l'utilisation de lentilles et de leur nombre inférieur dans la serre; cependant, ces lentilles diminuaient de 17% l'intensité lumineuse, mais donnaient une meilleure uniformité d'éclairage dans leur parcelle. D'autre part, le profil de la répartition des longueurs d'onde des luminaires DEL a été conçu pour optimiser l'action photosynthétique et la performance des cultures faisant l'objet de ces essais (voir profil lumineux des luminaires DEL section méthodologie).

Par rapport à la lumière naturelle, l'apport de l'éclairage artificiel fut en moyenne d'environ 29 % durant du premier lot et de 18 % durant le deuxième lot. Par rapport aux parcelles témoins, l'apport de l'éclairage artificiel fut en moyenne d'environ 27 % durant du premier lot et de 16 % durant le deuxième lot.

Tableau 13 : Les Serres Lefort - Bilan du flux photonique cumulé (mol / m²) dans le PAR lot 1

	Serre 36			Serre 37		
Date du début du traitement éclairage	16-février			21-février		
Date de la récolte	12 mars 9h00			18 mars 9h00		
# de jours attribués au traitement éclairage	24,2			25,2		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Heures éclairées						
total des heures ^A	408,0	408,0	9,0	453,0	453,0	9,0
Moyenne heures/jour	16,9	16,9	0,4	18,0	18,0	0,4
Radiation à l'extérieur						
Total mol/m ²	429,4	429,4	429,4	467,7	467,7	467,7
mol/m ² /j	17,7	17,7	17,7	18,6	18,6	18,6
Radiation à l'intérieur ^B						
Total mol/m ²	242,6	242,6	242,6	268,9	268,9	268,9
mol/m ² /j	10,0	10,0	10,0	10,7	10,7	10,7
Apport de l'EA^C						
Total mol/m ²	75,6	68,7	6,6	81,7	74,1	4,7
mol/m ² /j	3,1	2,8	0,3	3,2	2,9	0,2
Radiation totale à l'intérieur						
Total mol/m ²	318,3	311,3	249,3	350,7	343,0	273,6
mol/m ² /j	13,2	12,9	10,3	13,9	13,6	10,9
Addition par rapport au témoin %	27,7	24,9		28,2	25,4	
Addition par rapport à la lumière naturelle %	31,2	28,3	2,7	30,4	27,6	1,7

^A Les 9 heures du témoin de la serre 36 proviennent d'éclairage HPS le 16 et 17 février. Voir le bilan détaillé en Annexe 12.

^B Le taux de transmission de la lumière dans la serre 36 a été mesuré comme étant 56,5 % et celui de la serre 37 comme étant de 57,5 %. Voir le bilan détaillé en Annexe 12.

^C Pour la serre 36, l'intensité d'éclairage du HPS et du DEL fut respectivement de 51,5 et 46,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; pour la serre 37, de 50,1 et 45,4 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Pour le témoin de la serre 36, les 6,6 moles proviennent de l'équivalent de la pollution lumineuse valant 6,7 % en EA de l'apport dans la parcelle HPS et du 9 heures d'EA HPS au début.

Pour le témoin de la serre 37, les 4,7 moles proviennent de l'équivalent de la pollution lumineuse valant 5,7 % en EA de l'apport dans la parcelle HPS de cette serre.

Voir le bilan détaillé en Annexe 12.

Tableau 14 : Les Serres Lefort - Bilan du flux photonique cumulé (mol / m²) dans le PAR lot 2

	Serre 36			Serre 37		
Date du début du traitement éclairage	19-mars			25-mars		
Date de la récolte	9 avril 9h00			16 avril 9h00		
# de jours attribués au traitement éclairage	22,2			20,1		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Heures éclairées						
total des heures	399,0	399,0		363,0	363,0	
Moyenne heures / jour	18,0	18,0		18,1	18,1	
Radiation à l'extérieur						
Total mol / m ²	705,3	705,3	705,3	589,1	589,1	589,1
mol/m ² /j	31,8	31,8	31,8	29,3	29,3	29,3
Radiation à l'intérieur ^A						
Total mol / m ²	398,5	398,5	398,5	338,7	338,7	338,7
mol/m ² /j	17,9	17,9	17,9	16,9	16,9	16,9
Apport de l'EA ^B						
Total mol / m ²	74,0	67,1	8,1	65,5	59,4	3,8
mol/m ² /j	3,1	2,8	0,3	2,6	2,4	0,1
Radiation totale à l'intérieur						
Total mol / m ²	472,4	465,6	406,6	404,2	398,1	342,5
mol/m ² /j	19,5	19,2	16,8	16,0	15,8	13,6
Addition par rapport au témoin %	16,2	14,5		18,0	16,2	
Addition par rapport à la lumière naturelle %	18,6	16,8	2,0	19,3	17,5	1,1

^A Le taux de transmission de la lumière dans la serre 36 a été mesuré comme étant 56,5 % et celui de la serre 37 comme étant de 57,5%. Voir le bilan détaillé en Annexe 12.

^B Pour la serre 36, l'intensité d'éclairage du HPS et du DEL fut respectivement de 51,5 et 46,7 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; pour la serre 37, de 50,1 et 45,4 $\mu\text{mol m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

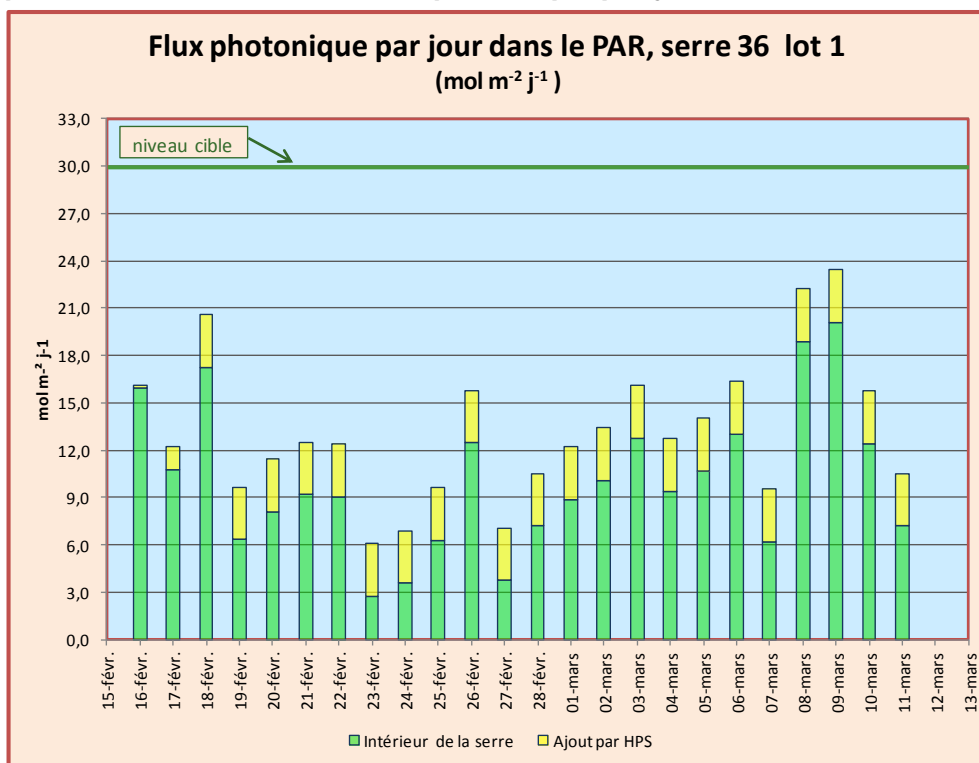
Pour le témoin de la serre 36, les 8,1 moles proviennent de l'équivalent de la pollution lumineuse valant 6,7 % en EA de l'apport dans la parcelle HPS.

Pour le témoin de la serre 37, les 3,8 moles proviennent de l'équivalent de la pollution lumineuse valant 5,7 % en EA de l'apport dans la parcelle HPS de cette serre.

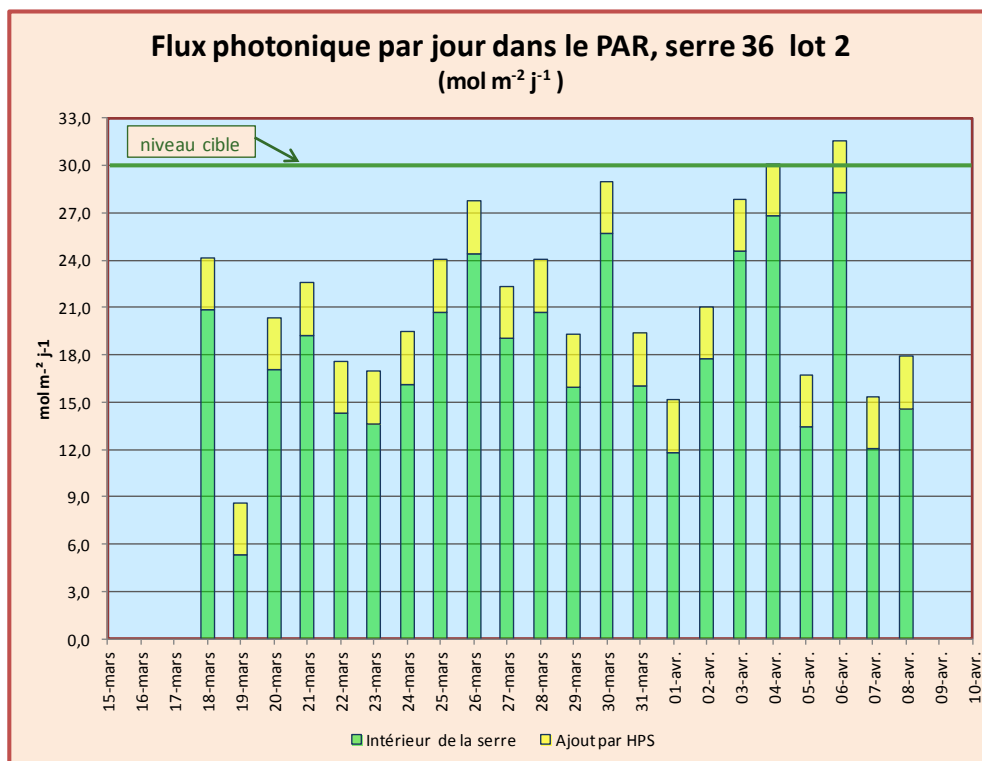
Voir le bilan détaillé en Annexe 12.

Dans les graphiques suivants : Graphique 1, Graphique 2, Graphique 3 et Graphique 4; on peut remarquer que le niveau souhaitable de 30 moles par jour pour la culture de la laitue n'a été atteint, grâce à l'ajout de l'EA, que 2 fois en début d'avril lors du second lot. Le programme d'éclairage de 18 heures était donc tout à fait approprié compte tenu de la puissance du système d'éclairage artificiel tel qu'installé.

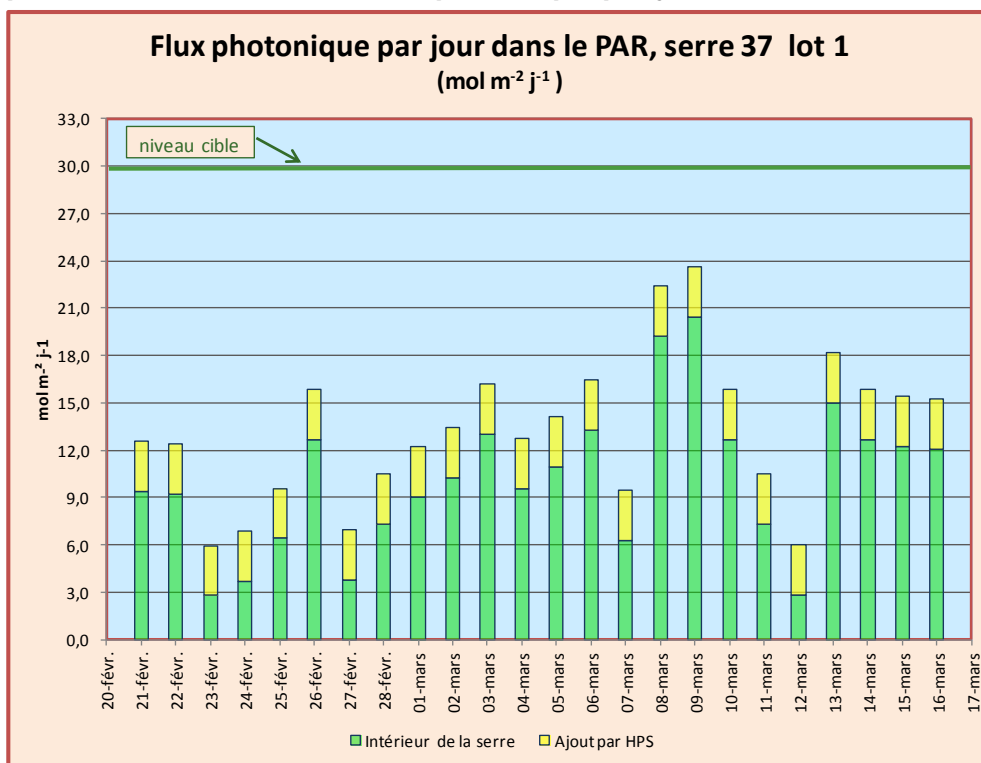
Graphique 1 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 36, lot 1



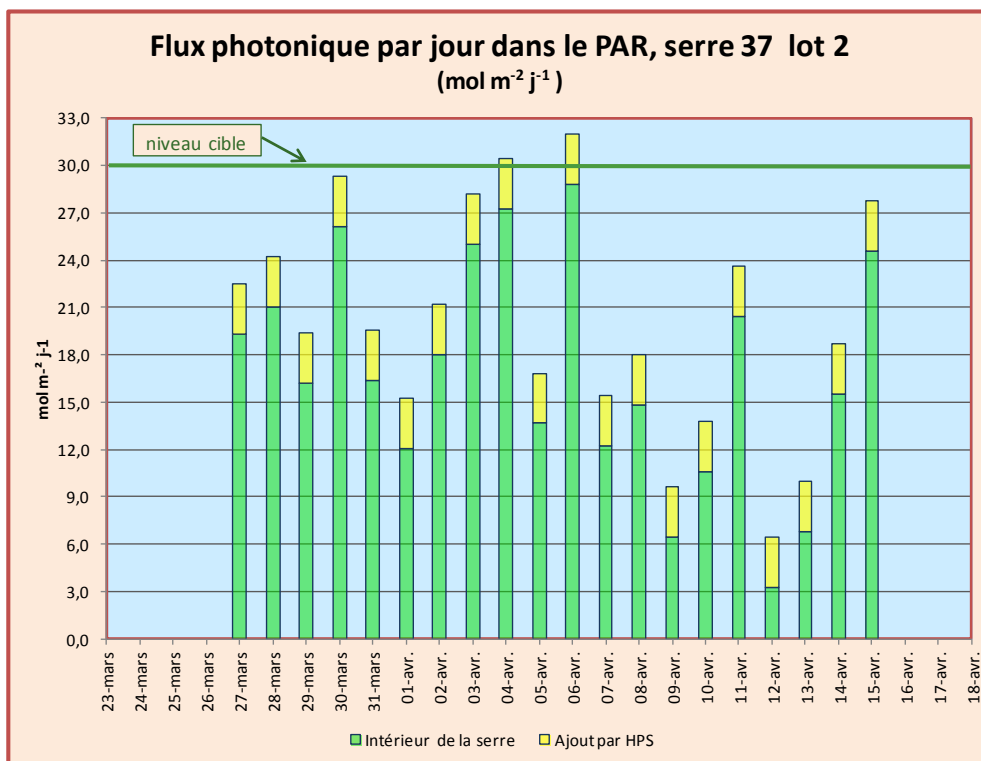
Graphique 2 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 36, lot 2



Graphique 3 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 37, lot 1



Graphique 4 : Les Serres Lefort - Flux photonique par jour dans le PAR, serre 37, lot 2



Distribution de la lumière par le système d'EA

Le schéma à l'Annexe 1 indiquent la position des luminaires HPS et DEL dans chacune des parcelles expérimentales.

Tel que décrit précédemment, des mesures d'intensité lumineuse par parcelle expérimentale réparties sur 14 points pris au hasard (dans le même ordre de distribution des plateaux pour les prises de données agronomiques) ont eu lieu au début et à la fin de chaque lot de culture. L'analyse de la moyenne des écarts types pour les quatre lectures faites par parcelle éclairée et telle que rapportée au Tableau 15, nous permet d'évaluer le niveau d'uniformité de la distribution de la lumière pour les deux systèmes d'éclairage artificiel. Il faut tenir compte que les luminaires DEL était pourvu de lentilles réduisant de 15 à 17 % l'intensité lumineuse.

Tableau 15 : Les Serres Lefort - Moyenne des écarts types et des coefficients de variation pour chaque parcelle éclairée dans la serre 36 et la serre 37 ^A

Luminaire		HPS	LED	Différence DEL/HPS
Moyenne	$\mu\text{mol /m}^2/\text{s}$	50,8	46,1	-9%
Max	$\mu\text{mol /m}^2/\text{s}$	61,0	56,8	s/o
Min	$\mu\text{mol /m}^2/\text{s}$	38,7	39,8	s/o
Écart type	$\mu\text{mol /m}^2/\text{s}$	7,3	4,6	s/o
Coefficient de variation		14 %	10 %	-30%

^A Quatre prises de mesures par parcelle sur 14 points pris au hasard.
Fusion des tableaux Tableau 7 et Tableau 8

Pour ce montage expérimental coefficient de variation était en moyenne 30 % moindre dans les deux parcelles DEL que dans les parcelles HPS. Sans doute que si les serres avoisinantes avaient été toutes éclairées avec un système ou l'autre, ce coefficient aurait été moindre dans les deux cas.

Conciliation entre le flux lumineux original émis et mesuré

Le Tableau 16 et le Tableau 17 font le lien par conciliation entre le flux lumineux original émis selon la fiche technique de l'ampoule et le mesurage effectué en identifiant et quantifiant les principales pertes subséquentes ou non à l'émission. La faible quantité requise pour faire la conciliation dans la serre 36, environ 1 %, nous indique que la méthode et la calibration du mesurage de l'éclairage artificiel furent probablement adéquates; il s'agit là d'un taux de concordance élevé autant pour le HPS que pour le DEL. Comme la serre 37 a des valeurs d'intensité mesurées très proches de la serre 36 et que le ratio d'intensité HPS:DEL est identique pour les deux serres (1,10), le niveau concordance sera du même ordre pour la serre 37.

Tableau 16 : Les Serres Lefort - Serre 36, parcelle HPS - Conciliation du flux original d'un luminaire HPS ^A avec l'intensité mesurée

Description		Flux	Intensité	Pertes ^B	Sources et notes
	Équation pour le flux	µmol/sec	µmol/m ² /sec	%	
Flux original émis par l'ampoule	A	1 350	69,2	n/a	Fiche technique GE Août 2013
Réduction du flux avec 9 000 heures d'utilisation		1 249	64,0	7,5 %	Fiche technique GE Août 2013.
Sous-consommation électrique : 764 W au lieu de 847 W		1 126	57,7	9,8 %	Mesurage essai 2013 et hypothèse que le ballast magnétique utilise 11,5% de l'énergie totale électrique mesurée.
Atténuation par le réflecteur		1 053	54,0	6,5 %	Fiche technique : Alanod (www.alanod.com) ^C
Pertes nettes dans les parcelles attenantes sans éclairage, 2 cotés sur 4		1 015	52,0	3,6 %	Une barre en bordure ^C .
Total des pertes de flux par rapport au flux original émis	B	335		24,8 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Quantité requise de pertes additionnelles pour être égale au mesurage ^D	C	10		1,0 %	Conciliation avec le mesurage : de 51,5 µmol/m ² /sec et le flux résiduel
Mesurage serre 36 moyenne de quatre mesurages	D=A-(B+C)	1 005	51,5	25,6 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Densité surfacique des luminaires	$19,5 = \frac{1\,005}{51,5}$	19,5 m²/luminaire			Caractéristiques techniques des lampes HPS et traitements

^A Ampoule tubulaire HPS 750 W GE Lucalox™ PSL Tubular Clear.

^B Le % de perte s'applique sur le flux de la ligne précédente (flux résiduel).

^C Pour le matériel utilisé pour la fabrication des réflecteurs, le fabricant rapporte une réflectance lumineuse d'un minimum de 95 %. Cependant, le réflecteur d'un luminaire n'est jamais parfaitement propre et dépendamment de sa conception, une proportion des photons émis par la lampe peuvent heurter plus d'une fois le réflecteur, d'où le choix d'un minimum de 6 % de pertes.

^D Conciliation du flux original de l'ampoule HPS avec l'intensité mesurée, serre 36.

Tableau 17 : Les Serres Lefort - Serre 36 - Parcelle DEL - Conciliation du flux original d'un luminaire DEL ^A avec l'intensité mesurée

Description		Flux	Intensité	Pertes ^B	Sources et notes
	Équation pour le flux	µmol/sec	µmol/m ² /sec	%	
Flux original émis par les DEL d'un luminaire	A	348	59,4	n/a	LED Innovation Design ^A .
Réduction du flux selon les heures d'utilisation		348	59,4	n/a	Lampe neuve donc aucune réduction à appliquer.
Atténuation par la lentille directionnelle ^C		294	50,2	15,5 %	Fiche technique Carclo Optics et estimation de LED Innovation Design.
Atténuation par la vitre de protection		271	46,2	8,0 %	LED Innovation Design, CYRO Industries (www.cyro.com).
Pertes nettes dans les parcelles attenantes sans éclairage, 1 coté sur 4		271	46,2	n/a	Une barre en bordure ^C Non applicable pour ce montage.
Total des pertes de flux par rapport au flux original émis	B	77		22,3 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte.
Quantité de pertes additionnelles requises pour être égale au mesurage ^D	C	-3		-1,1 %	Conciliation avec le mesurage de 46,7 µmol/m ² /sec et le flux résiduel.
Mesurage serre 36 moyenne de quatre mesurages	D=A-(B+C)	273	46,7	21,4 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte.
Densité surfacique des luminaires	$5,9 = \frac{273}{46,7}$	5,9 m²/luminaire			Caractéristiques techniques des lampes HPS

^A Smart Bar de 3,66 mètres de long, conception 2013 pour l'essai chez Les Serres Lefort, production de plantules de laitue.

^B Le % de perte s'applique sur le flux de la ligne précédente (flux résiduel).

^C Lentille pour concentrer le rayonnement uniquement dans la parcelle. Le fabricant de la lentille, Carclo, rapporte 83% de transmittance mais c'est pour un DEL différent que celui utilisé dans les luminaires de l'essai. Selon LED Innovation Design, le taux de transmittance est plus élevé.

^D Conciliation du flux original du luminaire DEL avec l'intensité mesurée, serre 36.

Ce haut niveau de concordance entre l'intensité calculée à partir du flux lumineux et de données techniques et l'intensité lumineuse mesurée par échantillonnage, permet de quantifier correctement par rapport à la lumière naturelle, l'apport de l'éclairage artificiel.

3.1.2. Serres Ovation

3.1.2.1. Démarche

Localisation et principales caractéristiques des Serres Ovation

L'entreprise « Serres Ovation » est localisée au nord-est de Montréal au 201, Grande Côte Ouest, Lanoraie (Québec). La route longe le fleuve Saint-Laurent. La latitude et la longitude de l'entreprise sont respectivement de 45,949° Nord et de 73,230° Ouest.

Le dispositif expérimental est localisé dans les complexes 1 et 2^{10 11}. La Photo 2 présente une vue aérienne de l'entreprise où le dispositif expérimental est localisé. Les complexes 1 et 2 sont orientés « Nord-Est - Sud-Ouest » sur l'axe longitudinal des serres qui est en fait le pignon du toit. Cette orientation est par rapport au nord géographique.

Pour faciliter l'orientation des différentes composantes de la serre, l'orientation de la serre sera par convention « Nord-Sud ». Toutefois, lorsque le rapport présentera la localisation du soleil, celui-ci sera par rapport au nord géographique.

Les complexes 1 et 2 sont composés chacune de huit chapelles de 7,6 m x 47,5 (25 pi x 156 pi). La hauteur à la gouttière est de 3,7 m (12 pi) et au pignon de 5,2 m (17 pi). Il y a une chapelle supplémentaire à l'ouest du complexe 1 qui serre comme salle mécanique. Il y a d'autres chapelles qui sont localisées à l'est du complexe 2. Ces chapelles forment le complexe 3.

Il y a un mur en polycarbonate qui sépare le complexe 1 de la salle mécanique. Pour les complexes 2 et 3, il n'y a aucun mur séparateur. Les complexes 1, 2 et 3 ne sont pas isolés, sauf le mur « sud » des complexes 2 et 3 qui est recouvert d'un panneau isolant sur une hauteur de 4' en partant du sol.

Le matériel de recouvrement des toits et des murs des complexes 1 à 3 où la superficie est en contact avec l'extérieur est le même. Il est composé d'un film double en polyéthylène. Les murs de la salle mécanique en contact avec l'extérieur sont en polycarbonate et le toit est composé d'un film double en polyéthylène. Il y a un ouvrant au toit sur chaque chapelle un seul des deux côtés. Les ouvrants sont localisés du côté « est » des chapelles.

Les films double en polyéthylène ont été renouvelés :

- Pour le complexe 1, à l'automne 2009 (4 ans);
- Pour le complexe 2, en mai 2012 (1 an).

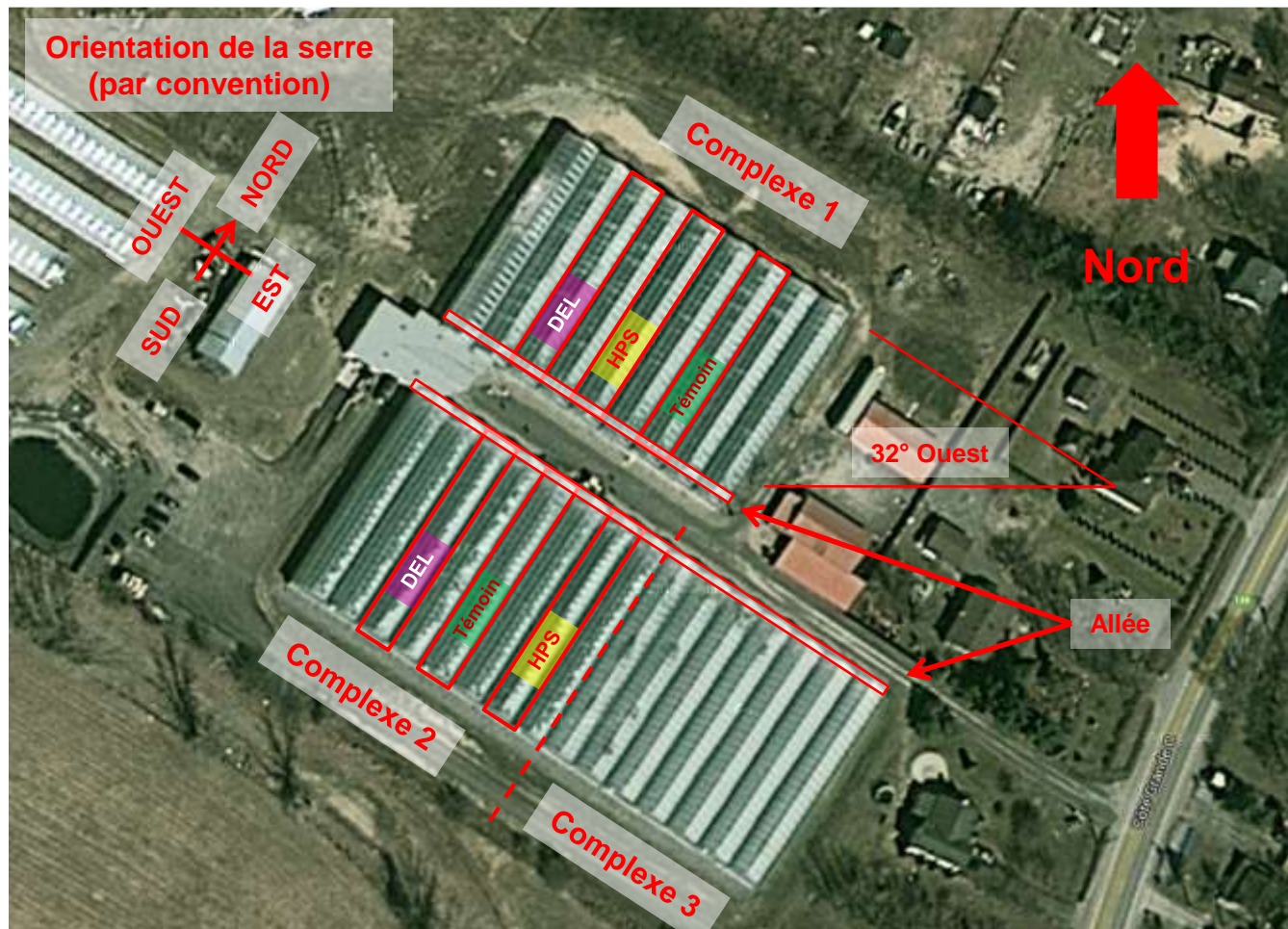
Le complexe 1 possède une allée de 1,8 m (6 pi) de large sur le côté « sud ». Les complexes 2 et 3 ont une allée de 1,8 m (6 pi) de large sur le côté « nord ». Ainsi, la superficie plancher de serre par chapelle dédiée à la production est de 7,6 m x 45,7 m (25 pi x 150 pi).

Au niveau de la chauffe, les fournaies à air chaud sont localisées le long du mur où sont localisées les allées. Des tubes en polyéthylène perforés qui sont rattachés aux fournaies distribuent la chaleur dans les chapelles. Trois HAF par chapelle sont installés pour uniformiser le climat. Finalement, les complexes 1 et 2 possèdent des générateurs de CO₂. Le modèle du générateur et leur gestion sont identiques d'un complexe à l'autre.

¹⁰ Chapelle 1.2 = Parcelle DEL; Chapelle 1.4 = Parcelle HPS; Chapelle 1.6 = Parcelle témoin

¹¹ Chapelle 2.3 = Parcelle DEL; Chapelle 2.5 = Parcelle témoin; Chapelle 2.7 = Parcelle HPS

Photo 2 : Serres Ovation - Vue aérienne où le dispositif expérimental est localisé



Source : Google. Adaptation : CIDES inc.

Périodes de mesurage

Pour les Serres Ovation, les essais se sont déroulés simultanément dans le complexe 1 et le complexe 2. Ainsi, les prises de données ont été effectuées dans les trois parcelles expérimentales de chacun de ces deux complexes. Le Tableau 18 présente les principales dates de début et de fin pour les traitements d'éclairage ainsi que pour les différentes prises de données où le mesurage a été compilé.

**Tableau 18 : Serres Ovation - Dates des traitements et des prises de données
Essais 2013**

	Traitement d'éclairage	Prise de données		
		Lumière ^{A C}	Température	Récolte
Début	15-mars	17 février	15-mars	8-avril ^B
Fin	26-mai	29-juin	29-juin	30-juin
# de jours	73	133	107	83

^A Pour la période du 17 février au 14 mars, les données de lumière extérieure sont celles de chez « Les Serres Lefort » corrigées pour tenir compte de la localisation de Serres Ovation (-5 %).

^B Le 8 avril étant un lundi, il compte pour 3 jours, la dernière récolte ayant été faite le vendredi.

^C Le 17 février correspond à 50 jours avant 8 avril, date de la première récolte du complexe 1 et du début de la prise de données pour les récoltes de tomates afin de mesurer l'effet l'éclairage artificiel.

Le Tableau 19 présente le calendrier de culture et des traitements de façon détaillée.

Tableau 19 : Serres Ovation - Calendrier de culture et des traitements

Description	Lieu et date 2013	
	Complexe 1	Complexe 2
Semis ^A	n/a	10-nov
Plantation	07-févr	03-janv
Début de l'éclairage de photosynthèse	15-mars	15-mars
Fin de l'éclairage de photosynthèse	26-mai	26-mai
Jours avec éclairage de photosynthèse	73 jours	73 jours
Nombre de jours du bilan lumineux	133 jours	133 jours
Entrée en production (0,1 kg/m ²)	08-avr	28-févr ^B
Nombre de jours d'éclairage avant l'entrée en production	24 jours	-16 jours
Date de début pour évaluation de l'effet de l'éclairage sur la production	08-avr	08-avr
Date de fin pour évaluation de l'effet de l'éclairage sur la production ^C	29-juin	29-juin
Nombre de jours d'évaluation de la production avant effet de l'EA	0 jour	40 jours
Nombre de jours d'évaluation de la production avec l'effet de l'EA	83 jours	83 jours
a) Nombre de jours jusqu'à la fin de l'EA	51 jours	51 jours
b) Nombre de jours après la fin de l'EA	34 jours	34 jours

^A Pour le complexe 1, les plants proviennent de drageons prélevés sur des plant-mères. Ils sont enracinés sur des cubes et mis par la suite sur les pains de substrat de fibres de coco pour la culture. Pour le complexe 2, ils sont issus d'un semis normal.

^B Pour le complexe 2, de la période de l'entrée en production jusqu'au 8 avril, date du début de l'évaluation de la production pour l'effet de l'EA, a servi à vérifier si les 3 parcelles des 3 traitements produisaient de façon égale.

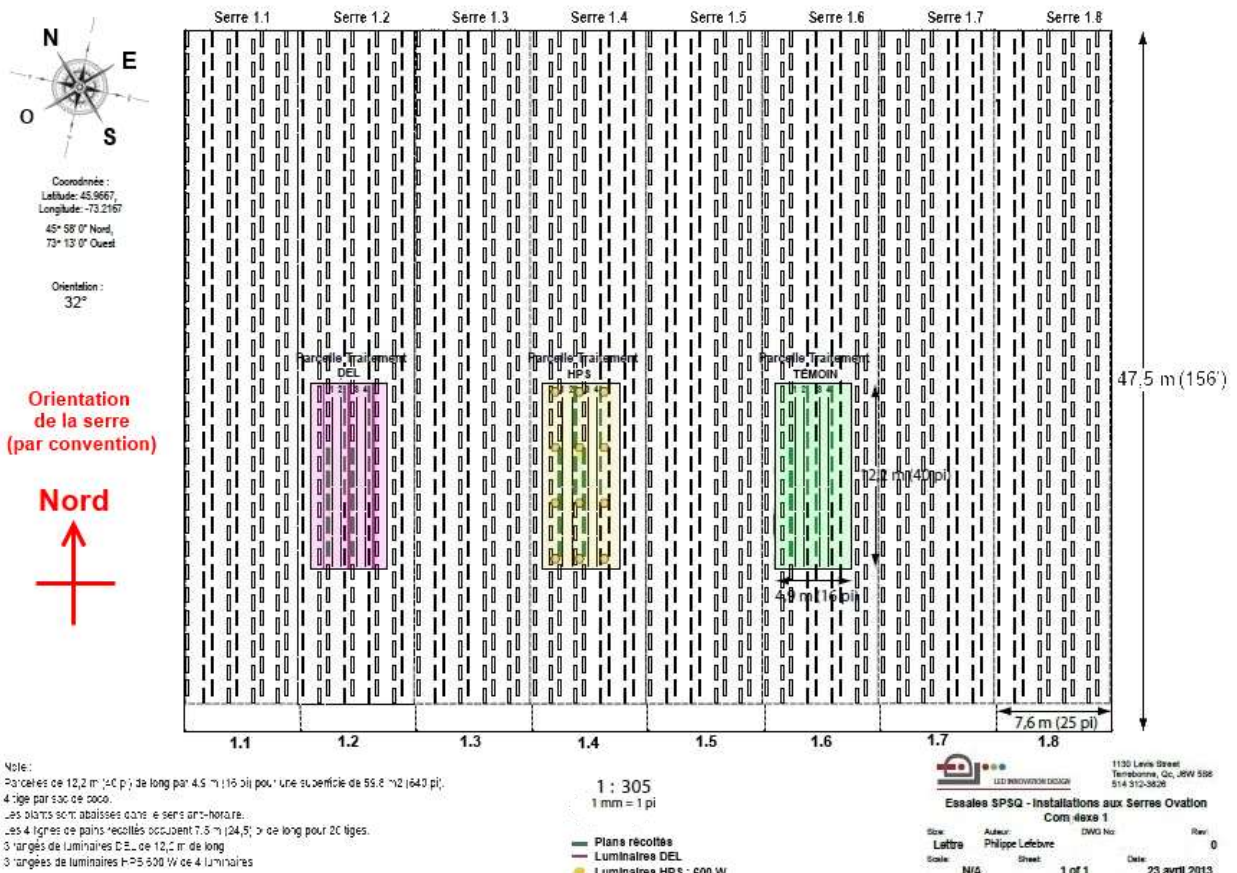
^C La récolte du 30 juin est pour les tomates produites les 28 et 29 juin. Il en est ainsi pour chaque date de récolte afin d'être harmonisé avec le bilan lumineux.

Choix du dispositif expérimental

Le dispositif expérimental est localisé dans les complexes 1 et 2. Ces serres sont dédiées à la production de tomates de serres roses du cultivar Makari. La production de tomates se fait de la mi-janvier à la mi-décembre. Le reste du temps, les complexes sont en maintenance ou encore en préparation pour la prochaine saison de production.

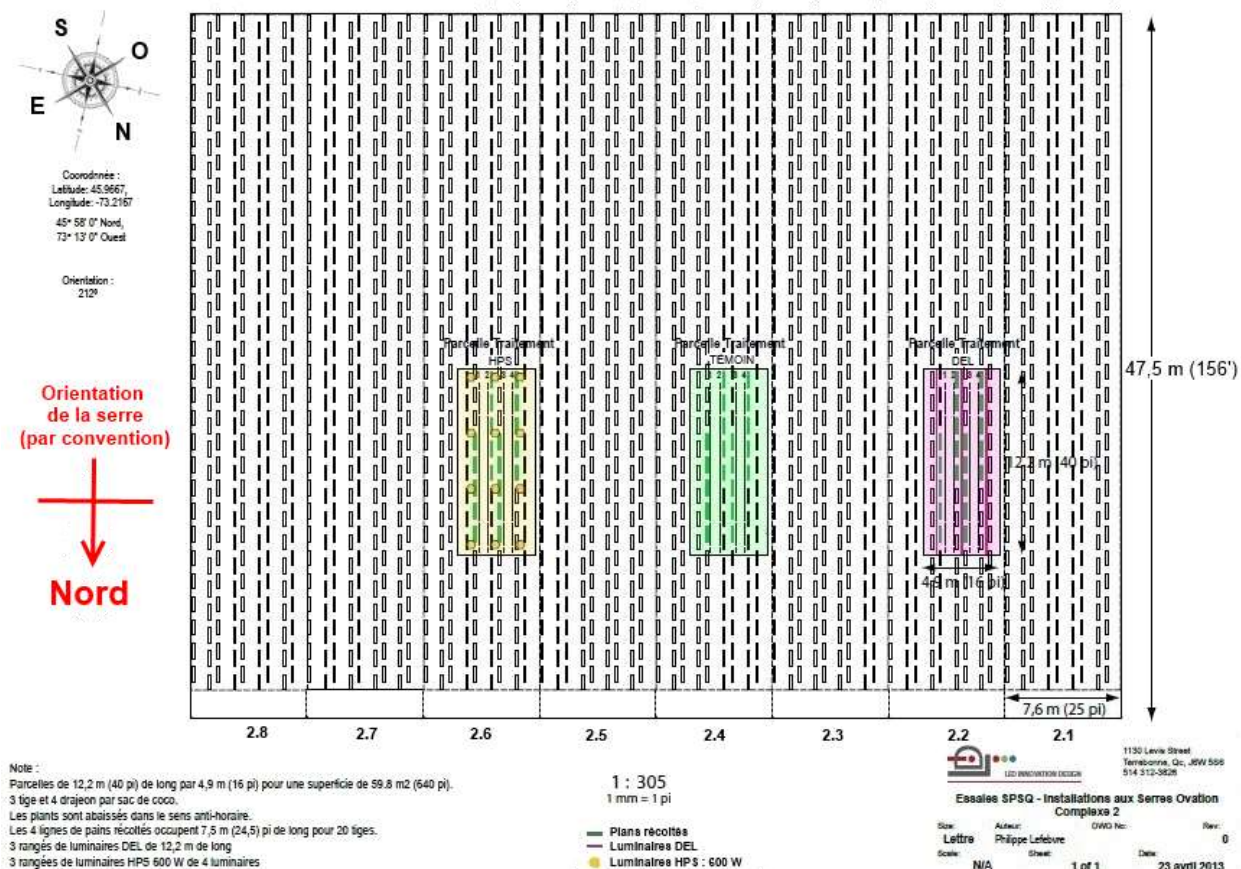
Pour les complexes 1 et 2, le dispositif expérimental comporte trois parcelles d'égales dimensions. L'ordre d'occurrence des traitements est présentée dans le Schéma 7 et le Schéma 8. Dans ces schémas, les parcelles sont : en mauve pour les DEL, en jaune pour les HPS et en vert pour les Témoins. Chaque parcelle mesure 4,9 m x 12,2 m (16 pi x 40 pi).

Schéma 7 : Serres Ovation - Complexe 1 - Vue détaillée des parcelles expérimentales



Plan : LED Innovation Design; Adaptation : CIDES inc.

Schéma 8 : Serres Ovation - Complexe 2 - vue détaillée des parcelles expérimentales



Plan : LED Innovation Design; Adaptation : CIDES inc.

Une chapelle est constituée de cinq (5) allées pour effectuer les opérations culturales et de quatre (4) rangs doubles de plants et d'un rang simple sous la gouttière du côté « est » de la gouttière « ouest » (orientation selon la convention).

Le dispositif expérimental se situe dans les chapelles 2, 4 et 6 de chaque complexe. Les chapelles attenantes aux chapelles avec traitement n'ont aucun éclairage artificiel. Chaque traitement d'éclairage est donc complètement isolé et exempt de pollution lumineuse des autres traitements.

Toutes les parcelles expérimentales débutent à environ 9,1 m (30 pi) du trottoir du bout de la serre et les plants récoltés et mesurés se situent dans les allées 2 et 3 des chapelles. Pour chacune des parcelles expérimentales, chaque récolte des 4 demi-rangs les composant est enregistrée séparément. (voir le Schéma 7 et le Schéma 8).

Chaque demi-rang est composé de 5 sacs de substrat réparti également sur 7,5 m (24,5 pi) de long (voir l'Annexe 4).

1. Dans le complexe 1, sur chaque sac de substrat il y a 4 plants avec 1 tige ce qui donne 20 tiges.
2. Dans le complexe 2, sur chaque sac de substrat il y a 3 plants avec 1 tige; dans la semaine du 12 février, une tige auxiliaire a été ajoutée à un des trois plants par sac ce qui permis d'obtenir 20 tiges récoltées. Ceci a été fait également vers le 22 avril (Tableau 22)

La largeur attribuée à chaque demi-rang étant 0,81 m (2,65 pi) en moyenne, la superficie attribuée aux 20 tiges est de 6,02 m² (64,8 pi²) donnant ainsi une densité de culture de 3,32 tiges par m².

L'aire expérimentale est cependant plus longue parce que les tiges sont abaissées et en ce faisant elles se déplacent d'autant à l'horizontale. Le début et la fin des 5 sacs de cultures pour les tiges récoltées sont positionnés de façon asymétrique de chaque côté de l'allée puisque les deux côtés de l'allée ne sont pas abaissés dans le même sens.

De plus, il fallait s'assurer d'un éclairage d'une intensité uniforme durant la période d'éclairage artificiel. Ainsi, le premier sac est placé à environ 0,61 m (2 pi) début de zone d'éclairage du côté opposé où les tiges sont abaissées (voir la Photo 3). Les dispositifs d'éclairage de photosynthèse sont donc aménagés pour donner un éclairage uniforme et d'intensité semblable (photons dans le PAR) sur 11,0 m (36 pi), plus précisément 7,5 m (24,5 pi) pour les sacs et 3,8 m (12,5 pi) pour l'abaissement de 14 semaines) et ceci sur l'axe longitudinal. Cette longueur devrait donner une sécurité suffisante compte tenu du calendrier planifié. Le dispositif d'éclairage a donc 12,2 m (40 pi) de long pour les luminaires DEL (5 barres de 2,4 m ou 8 pi) et 11,0 (36 pi) pour les luminaires HPS (4 luminaires distancés de 3,7 m ou 12 pi entre chacun).

Photo 3 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013



Note : Premier abaissement dans la parcelle HPS.
Photo de *LED Innovation Design*

Étant donné que les 4 demi-rangs se situent sur 3 rangs doubles de plants, les luminaires sont placés sur les 3 rangs en leur centre et les 2 broches de supports pour le tuteurage sont placées à 29,2 cm ou 11,5 pouces (la distance entre les broches de support est de 58,4 cm ou 23 pouces) de chaque côté du centre du luminaire favorisant ainsi une meilleure pénétration à l'intérieur au centre du rang (endroit où la lumière naturelle pénètre peu; voir le Schéma 7 et le Schéma 8). Finalement, le Tableau 20 présente l'ordre d'occurrence des traitements.

**Tableau 20 : Serres Ovation - Ordre d'occurrence des traitements
(établi de façon aléatoire)**

Chapelle	Complexe 1	Complexe 2
2	Lampes DEL (chapelle 1.2)	Lampes DEL (chapelle 2.2)
4	Lampes HPS (chapelle 1.4)	Témoin sans éclairage (chapelle 2.4)
6	Témoin sans éclairage (chapelle 1.6)	Lampes HPS (chapelle 2.6)

Calendriers et densité de culture

Le Tableau 21 et le Tableau 22 présente le calendrier et la densité des cultures.

Tableau 21 : Serres Ovation - Complexe 1 - Calendrier et densité de culture

Opération	Date	Densité
Plantation ^A	7 février 2013	4 plants par pain de substrat = 3,32 tiges par m ² (20 tiges par demi rang)
Première récolte	12 avril 2013	Récolte sur 3,32 tiges par m ²
Dernière récolte pour évaluer l'effet de l'E.A	30 juin 2013	20 tiges comptées

^A Les plants proviennent de plant-mères. Ils sont enracinés sur des cubes et mis par la suite sur les pains de substrat pour la culture.

Tableau 22 : Serres Ovation - Complexe 2 - Calendrier et densité de culture

Opération	Date	Densité
Semis	10 novembre 2012	n/a
Plantation	3 janvier 2013	3 plants par pain de substrat = 2,49 tiges par m ² (15 tiges par demi rang)
Ajout d'une tige par 3 plants	12 février 2013	= 3,32 tiges par m ² de culture (20 tiges par demi rang)
Première récolte	25 février 2013	Récolte sur 2,49 tiges par m ²
Récolte sur la tige ajoutée	22 avril 2013	Récolte sur 3,32 tiges par m ²
Dernière récolte pour évaluer l'effet de l'E.A	30 juin 2013	20 tiges comptées

Caractéristiques techniques des lampes HPS et DEL et traitements

1) Éclairage HPS

Serres Ovation n'avait pas d'éclairage artificiel HPS avant le début du projet. Ainsi, il y a eu l'installation de quatre luminaires HPS par rang avec ampoules de 600 Watts pour trois rangs pour un total de 12 lampes par parcelle expérimentale. Le luminaire a été placé au centre du rang entre les broches de support pour le tuteurage.




- Distance entre les lampes : 3,7 m (12 pi) sur l'axe longitudinal des chapelles
- Distance entre les lampes : 1,6 m (5,3 pi) sur l'axe transversal
- Distance entre le sol et le luminaire : 3,41 m (11,2 pi) pour le complexe 1
3,30 m (10,8 pi) pour le complexe 2
- Densité d'éclairage : une ampoule de 600 Watts par 6,9 m² (63,6 pi²)
- Puissance d'éclairage (ampoules de 600 Watts) par pi² = 101,5 m²/Watt (9,43 Watt/pi²)
- Puissance électrique incluant le ballast (10%) = 111,7 Watt/m² (10,38 Watt/pi²)
- Intensité lumineuse dans le PAR mesurée sur la ligne longitudinale passant au centre des lampes et à une distance verticale de 1,0 mètre, moyenne de 7 points de mesure a été faite le 26 mars 2013 : 197 µm/m²/sec
- Durée moyenne de l'éclairage planifiée et estimée à 12,1 heures par jour selon l'ensoleillement et la durée du jour.

2) Éclairage DEL

Les lampes DEL sont du modèle suivant : Lampe TI SmartBar de la compagnie LED Innovation Design. Les spécifications techniques sont présentées à l'Annexe 7.

Les caractéristiques techniques choisies du profil du flux pour les luminaires DEL pour la culture de tomates sont présentées dans le Tableau 23. Le profil de la répartition des longueurs d'onde des luminaires DEL a été conçu pour optimiser l'action photosynthétique et la performance des cultures faisant l'objet de ces essais.

Tableau 23 : Serres Ovation - Répartition du flux photonique des luminaires DEL pour la production de tomates

Composition des photons (%)	Longueur d'onde (nm)	Échantillon
41	660 (rouge profond)	
43	640 (rouge)	
16	425 (bleu royal)	

Finalement, le lecteur trouvera dans les points suivants les principales caractéristiques liées au montage du système d'éclairage artificiel DEL.

Sur l'axe longitudinal de la chapelle, il y a 5 barres de 8 pieds de long. Il y a donc dépassement de 2 pieds de chaque côté de la parcelle expérimentale pour garder une intensité lumineuse égale sur la pleine longueur de la parcelle (11,0 m ou 36 pi) afin de représenter un environnement lumière semblable à une serre éclairée au complet avec le DEL. Le luminaire est placé au centre du rang entre les broches de support pour le tuteurage.

- Distance entre les barres : 1,6 m (5,3 pi) sur l'axe transversal

- Distance entre le sol et le luminaire :
 - 3,41 m (11,2 pi) pour le complexe 1
 - 3,30 m (10,8 pi) pour le complexe 2 afin d'avoir une intensité qui se comparera avec celle des HPS
- Superficie d'éclairage couverte par barre de 2,4 m (8 pi) : 3,9 m² (42,4 pi²)
- Puissance électrique par barre de 2,4 m (8 pi) : 240 watts pour 60,9 m² (5,66 Watt/pi²)
- Intensité lumineuse dans le PAR mesurée sur la ligne longitudinale passant au centre des lampes et à une distance verticale de 1,0 mètre, moyenne de 7 points de mesure a été faite le 26 mars 2013 : 160 µm/m²/ sec
- Durée moyenne de l'éclairage planifiée et estimée à 12,1 heures par jour selon l'ensoleillement et la durée du jour.

3) Sans éclairage artificiel

- Le dispositif agronomique est le même que dans les parcelles éclairées.

La distance entre les luminaires et la têtes des plants sera mesurés à quatre reprises durant la période des récoltes dans le but d'estimer à quelle distance moyenne la tête des plants était durant la période d'éclairage. Cette distance fluctue en fonction du calendrier d'abaissement des plants et du taux de croissance.

Programme d'éclairage artificiel

Dans le cadre du projet chez Les Serres Ovation, la photopériode a été fixée 17 heures par période de 24 h.

L'EA débutait le matin 0,5 heure après le lever du soleil pour une période d'environ 2,5 heures et fonctionnait par la suite selon l'intensité lumineuse extérieure.

Le jour, l'éclairage artificiel (EA) est divisé en trois parties :

- Partie 1 : EA démarrait ½ heure après le lever du soleil pour une durée constante de 2,50 heures.
- Partie 2 : EA démarrait immédiatement après la fin de la partie 1 et il se terminait de façon à ce que le temps de la photopériode ne dépasse pas 17 heures par période de 24 h e selon l'intensité lumineuse extérieure.
- Partie 3 : EA artificiel démarrait 2,00 avant le coucher du soleil pour se terminer au coucher du soleil.

La nuit, l'EA démarrait au coucher du soleil et il se terminait de façon à ce que le temps de la photopériode ne dépasse pas 17 heures par période de 24 h, et sans égard à l'ensoleillement et à la lumière cumulée durant le jour.

Le Tableau 24 présente de façon détaillée les équations qui permettent de calculer sur une base quotidienne :

- les heures de début et de fin de l'EA pour le jour (trois parties) et la nuit.
- la durée totale de l'EA.

Les équations sont valides pour toute la durée du projet et pour les complexes 1 et 2. De plus, elles permettent de respecter la photopériode choisie .Le fait de fixer la photopériode à 17 heures par période de 24 h et que le lever et le coucher du soleil varie dans le temps, ceci implique que la durée totale d'utilisation de l'EA par jour varie.

Tableau 24 : Serres Ovation - Équations pour calculer les heures de début et de fin de l'éclairage artificiel (EA) et la durée totale de l'EA sur une base quotidienne tout en respectant la photopériode fixée à 17 heures par période de 24 h

Période	Soleil ¹²			Programme d'éclairage artificiel (EA)		
	Lever	Coucher	Durée du jour	Début	Fin	Durée
	L _s	C _s	D _J = C _s - L _s			
Soir				E_{SD} = C_s	E_{SF} = T_p - D_J + C_s	D_S = E_{SF} - E_{SD}
Exemple	8 h 00	16 h 15	D _J = 8,25 = 16,25 - 8,00	E _{SD} = 16 h 15	E _{SF} = 01 h 00 (après minuit) E _{SF} = 17,00 - 8,25 + 16,25	D _S = 8,75 = 1,00 (après minuit) - 16,25
Jour (partie 1)				E_{J1D} = L_s + 0,50	E_{J1F} = L_s + 0,50 + 2,50	D_{J1} = 2,50 (constante)
Exemple	8 h 00	16 h 15	D _J = 8,25 = 16,25 - 8,00	E _{J1D} = 8 h 30 = 8,00 + 0,50	E _{J1F} = 11 h 00 = 8,00 + 0,50 + 2,50	D _{J1} = 2,50
Jour (partie 2)				E_{J2D} = E_{J1F}	E_{J2F} = (D_J - (D_{J1} + D_{J3} + 0,50)) x 0,50 + E_{J1F}	D_{J2} = E_{J2F} - E_{J2D}
Exemple	8 h 00	16 h 15	D _J = 8,25 = 16,25 - 8,00	E _{J2D} = 11 h 00	E _{J2F} = 12,625 ou 12 h 37 min 30 E _{J2F} = (8,25 - (2,50 + 2,00 + 0,50)) x 0,50 + 11,00	D _{J2} = 1,625 h ou 1 h 37 min 30 s D _{J2} = 12,625 - 11,00
Jour (partie 3)				E_{J3D} = C_s - 2,00	E_{J3F} = C_s	D_{J3} = 2,00 (constante)
Exemple	8 h 00	16 h 15	D _J = 8,25 = 16,25 - 8,00	E _{J3D} = 14 h 15 = 16,25 - 2,00	E _{J3F} = 16 h 15	D _{J3} = 2,00
Total - Temps éclairage artificiel (T_E)						T_E = D_S + D_{J1} + D_{J2} + D_{J3}
Exemple						T_E = 14,875 T_E = 8,75 + 2,50 + 1,625 + 2,00
Total - Photopériode (T_P)						T_P = D_J + D_S
Exemple						T_P = 17,00 T_P = 8,25 + 8,75

Notes :

- Intensité de l'éclairage DEL à 1,07 m de la lampe (42 pouces) était de 105 µmol/m²/sec.
- Intensité de l'éclairage HPS à 1,5 m (5,0 pi) était de 123 µmol/m²/sec (intensité moyenne HPS 600 W sur 60 pi²) ou 21 joules/m²/sec pour la superficie éclairée d'un rang.

¹² Selon les données d'Environnement Canada pour le site.

Prise de mesures et répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL

Un capteur de lumière dans le PAR a été installé dans chaque parcelle à 86,4 cm (34 pouces) sous l'entrait (voir l'Annexe 2) et au centre du rang entre les deux broches de support (distancées de 58,4 cm ou 23 pouces) pour le tuteurage. Les capteurs ont entre autres permis la vérification du fonctionnement de l'éclairage artificiel et confirmer les heures de départ et d'arrêt de l'EA afin d'effectuer correctement la sommation en moles dans le PAR de l'apport de l'EA.

La sommation de la lumière naturelle a été établie en déduisant les apports de l'éclairage artificiel et en corrigeant leur lecture en fonction de la celle obtenue par le capteur sphérique Licor et ramener en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dans le PAR.

Le capteur de lumière dans le PAR utilisé pour évaluer la répartition de la lumière est de la compagnie Li-Cor (modèle : Li-193). Ce capteur permet d'évaluer le flux de photon provenant de toutes les directions dans le PAR et les valeurs obtenues sont plus représentatives ce qu'une plante peut recevoir comme lumière. Le lecteur trouvera à l'Annexe 9 les spécifications de ce capteur.

Un mesurage de l'intensité lumineuse a été effectué le 26 mars et le 14 mai. Le schéma de l'Annexe 3 montre les cinq points de mesure sur le plan vertical. Le premier mesurage a été fait avec les points a, b, c et d; Le deuxième mesurage a été fait avec les points b, d et e. Sur le plan longitudinal, il y a sept points de mesure sur une distance de 11,0 m (36 pi). Pour le premier mesurage, cela donne donc 28 points (7 x 4) mesurés par parcelle éclairée. Un capteur Li-Cor (calibré) avec sphère a été utilisé pour ce faire (voir la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Photo 4 : Serres Ovation - Mesurage de l'intensité lumineuse



Note : Avec flash. Complexe 1, le 14 mai 2013, parcelle DEL. Entre les rangs no 1 et no 2.
En préparation pour mesurer l'intensité lumineuse : Dr. Mark Lefsrug de Université McGill et Gilles Cadotte agr. À remarquer la hauteur des plants non abaissés.
Photo de *LED Innovation Design*.

Taux de transmission de lumière naturelle des serres

Le taux de transmission de lumière naturelle des serres au niveau de la canopée est fonction des éléments suivants :

- L'aménagement de la serre (exemple : mur intérieur de couleur blanc lustré).
- L'effet d'ombrage causé par la structure de la serre et ses composantes (exemples : le système d'éclairage artificiel, les écrans thermiques).
- L'état du matériel de recouvrement lorsque la serre est utilisée (exemple : double film en polyéthylène mal gonflé).
- L'orientation de la serre.
- La condensation sur le matériel ou encore entre les films.
- La localisation du soleil selon la période de l'année et du jour.
- La part du rayonnement diffus et direct.
- La saleté accumulée ou encore l'usure du matériel de recouvrement.
- Le nombre de films utilisé comme matériel de recouvrement (exemples : simple film en polyéthylène, double film en polyéthylène).
- Le profil et l'inclinaison du toit.
- Le type, l'épaisseur et le taux de lumière transmis dû à l'absorption et à la réflexion par le matériel de recouvrement de la serre.

Évidemment, le but du projet n'est pas de quantifier ou de qualifier chacun de ses éléments. Cependant, la question de la localisation du soleil sera abordée après cette sous-section.

Aussi, le taux de transmission de lumière naturelle des serres des complexes 1 et 2 a été évalué. Chaque serre a son propre taux de transmission de lumière. Ce taux va affecter la lumière naturelle reçue par les plants. Il faut en tenir compte lors du bilan agronomique. De plus, ceci a un impact sur la façon d'évaluer l'économique.

Les données recueillies pour les évaluer ces taux ont été réalisées le 4 juin 2013 avec le Li-Cor (appareil utilisé pour évaluer la répartition de la lumière). L'appareil a été calibré en utilisant les données théoriques provenant du site « Clear Sky Calculator¹³ ».

Ce calculateur détermine l'intensité du rayonnement tombant sur une surface horizontale à n'importe quel moment de la journée dans n'importe quel endroit dans le monde. Ce calculateur permet de déterminer la nécessité de recalibrer les capteurs de lumière. Il est plus précis lorsqu'il est utilisé près du midi solaire pendant les mois d'été. Ce qui a été réalisé. Le calculateur peut servir pour des capteurs de type pyranomètre ou quantum¹⁴.

En comparant les données des capteurs de lumière provenant du Li-Cor entre l'extérieure de la serre et l'intérieure de la serre, les taux de transmission brute ont été évalués. Les données de lumière extérieure ont été prises sur le gazon à 60 pieds des bâtiments avec le capteur à la

¹³ www.clearskycalculator.com

¹⁴ Un capteur « Pyranomètre » mesure l'énergie de la bande spectrale qui couvre tout le rayonnement de 280 à 2800 nm. Toutefois, 90% de l'énergie solaire est comprise entre 300 et 1 100 nm. Cette bande spectrale de 300 à 1100 nm est appelé « shortwave radiation ». La plupart des capteurs « Pyranomètre » mesure seulement le flux photonique dans le « shortwave radiation », mais ils sont calibrés pour évaluer la bande spectrale de 280 à 2800 nm. Un capteur « Quantum » mesure l'énergie de la bande spectrale qui couvre tout le rayonnement de 400 à 700 nm.

verticale au-dessus de la tête. Les données de lumière intérieure ont été prises à la hauteur de la broche entre deux entrants sans ombragement de structure (complexes 1 et 2) pour obtenir une lecture maximum pour minimiser l'ombragement causé par les infrastructures. Pour tenir compte de l'effet des infrastructures sur l'ensemble des parcelles et selon la période de la journée, les taux de transmission de lumière brute des complexes 1 et 2 ont été diminués de 3 %. Le lecteur trouvera à l'Annexe 13 le détail des prises de données. Le Tableau 26 à la page 63 présente les taux de transmission de la lumière naturelle des complexes 1 et 2.

En tenant compte des résultats de la répartition de l'intensité lumineuse des systèmes d'éclairage HPS et DEL, du taux de transmission de lumière, des données de lumière extérieure¹⁵ et des facteurs d'ajustement pour tenir compte des caractéristiques des différents capteurs de lumière (exemples : types de capteur, données Clear Sky), il a été possible d'effectuer le bilan de lumière. Les données détaillées des serres des complexes 1 et 2 sont présentées à l'annexe G et les résultats sont présentés après la section « Localisation du soleil ».

Localisation du soleil

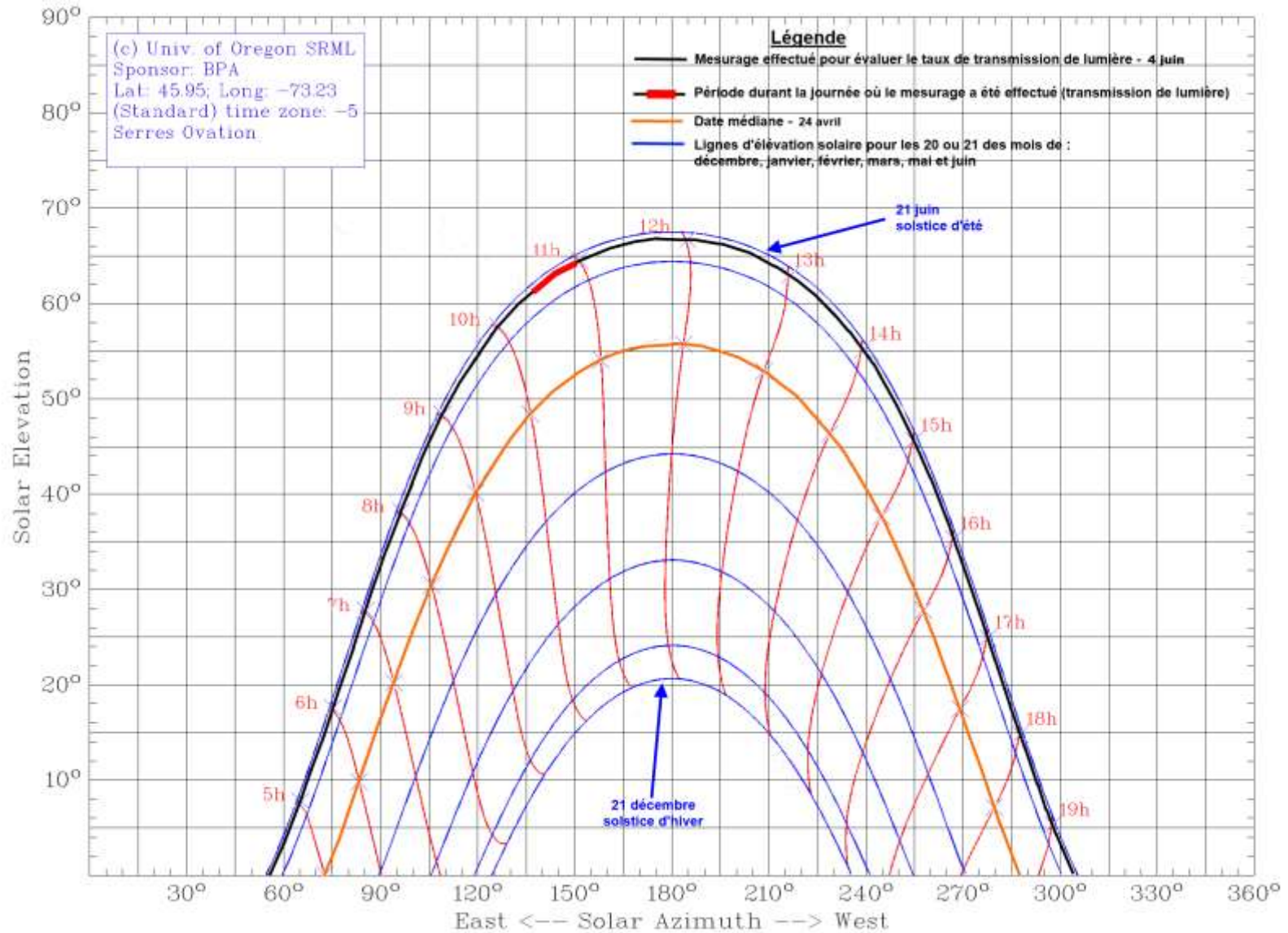
Pour être en mesure d'analyser et d'interpréter adéquatement les résultats du bilan lumineux, il faut prendre connaissance de la localisation spatiale du soleil lors du projet. En effet, la localisation du soleil va influencer la quantité de lumière naturelle reçue par la serre et la production, mais aussi le taux de transmission de lumière naturelle des serres. La section qui décrit : le Schéma 1 : Taux de transmission de lumière pour une serre jumelée, pour différentes orientations de la serre, différents mois et différentes heures de la journée (voir la page 28), le Schéma 2 : Taux de transmission de lumière (%) pour : différents types de serres, différentes orientations de serres et différentes heures de la journée (voir la page 29) et le Tableau 10 : Perte de lumière par la réflexion selon l'angle d'incidence d'un rayon lumineux qui frappe la surface d'une paroi (voir la page 27) s'appliquent aussi pour les Serres Ovation.

Comme il a été mentionné dans l'analyse de « Les Serres Lefort », il faudrait idéalement mesurer en continu (jour par jour, heure par heure) le taux de transmission naturelle. Dans la pratique, cette tâche demeure une utopie, car il serait difficile de le faire pour des raisons techniques et financières. Ainsi, il a été décidé de prendre le taux de transmission de lumière naturelle à la date du 4 juin tout en tenant compte de l'effet de la localisation du soleil dans le temps lors des calculs, des analyses et des interprétations des résultats des différents bilans.

Le Schéma 9 présente la localisation spatiale du soleil chez les Serres Ovation pour différentes périodes, et lors de la prise de données pour calibrer le Li-Cor et pour évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des complexes 1 et 2.

¹⁵ Ces données proviennent du capteur de lumière extérieure PRIVA des Serres Lefort l'entreprise.

Schéma 9: Serres Ovation - Localisation spatiale (hauteur et orientation) du soleil pour différentes périodes¹⁶



Note : UO Solar Radiation Monitoring Laboratory, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

¹⁶ Le 4 juin 2013, l'élévation maximale est de 66,50° vers 11 h 51 (heure normale).

Le Schéma 10 et le Schéma 11 présentent le lever et le coucher du soleil pour différentes périodes.

Schéma 10 : Serres Ovation - Lever et coucher du soleil - 24 avril
 (période médiane liée au bilan du flux photonique - Complexes 1 et 2)



Date: Day 24 Mon Apr Yr 2013 Local Time: 00 : 00 : 00 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/EI (in °) at Local Time:	
1.93	13.08	04:51	11:50:59	18:52	184.04	57.08
Show on map:		Sunrise <input checked="" type="checkbox"/>		Sunset <input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth <input type="checkbox"/>	

Source : NOAA Solar Calculator, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

Schéma 11 : Serres Ovation - Lever et coucher du soleil - 4 juin 2013
 (période de prise de données pour évaluer le taux de transmission de lumière des complexes 1 et 2)



Date: Day 4 Mon Jun Yr 2013 Local Time: 00 : 00 : 00 PM

Equation of Time (minutes):	Solar Declination (in °):	Apparent Sunrise:	Solar Noon:	Apparent Sunset:	Az/EI (in °) at Local Time:	
1.6	22.5	04:04	11:51:19	19:39	185.03	66.5
Show on map:		Sunrise <input checked="" type="checkbox"/>		Sunset <input checked="" type="checkbox"/>	Azimuth <input type="checkbox"/>	

Source : NOAA Solar Calculator, Paramètres et adaptation : CIDES inc.

3.1.2.2. Résultats, analyses et discussions

Le bilan lumineux pour les trois parcelles des complexes 1 et 2 a été établi en mole de lumière par mètre carré pour le rayonnement dont les longueurs d'onde se situent entre de 400 et 700 nm. Ce rayonnement est désigné comme étant le rayonnement photosynthétiquement actif (RPA en français, ou PAR en anglais). Il quantifie un nombre de photons et non une quantité d'énergie. L'activité de photosynthèse est fonction de la quantité des photons reçus et l'efficacité photosynthétique fluctue selon les longueurs d'onde de ces photons.^{17 18}

Périodes couvertes par les bilans lumineux

Tel qu'indiqué dans le Tableau 27, le bilan lumineux a été fait durant la période du 17 février au 29 juin 2013 soit pour une durée de 133 jours, et ce, pour les deux complexes. L'éclairage artificiel a débuté le 15 mars pour se terminer le 26 mai en fin de journée pour une durée de 73 jours.

La période d'accumulation de la lumière dans chaque complexe a donc débuté 50 jours avant la première récolte du complexe 1 et avant que nous enregistrions les données de récolte du complexe 2 (qui, lui, avait débuté sa production le 28 février) afin de mesurer l'effet de l'éclairage artificiel sur la production dans les deux complexes. Également, les données de lumière ont été prises jusqu'à 34 jours après la fin de l'éclairage artificiel pour couvrir la période de production durant laquelle il y aurait un effet résiduel de l'éclairage artificiel. L'accumulation de la lumière sur une période de 133 jours permet d'établir adéquatement et d'analyser le ratio de moles de lumière par kg de tomate produite sur une période de production de 86 jours (voir le Tableau 18 et le Tableau 19).

Les tableaux pour les données de lumière cumulées chaque jour pour chaque complexe du Tableau 28 ont été mis à l'Annexe 14 : Serres Ovation - Complexes 1 et 2 - Bilan de lumière.

Radiations à l'extérieur de la serre

Les données recueillies pour les radiations à l'extérieur de la serre et rapportées dans le Tableau 27 peuvent être considérées comme fiables selon les auteurs du rapport (voir la section 3.1.2.1 à la page 43) les valeurs du capteur pour la lumière extérieure chez Serres Ovation ayant été conciliées avec les valeurs du calculateur de Clearsky.

Les moyennes quotidiennes des radiations reçues ont été nettement en dessous de la normale durant le mois de mai (-26 %) et juin (-38 %). Cela est bien apparent dans le Graphique 5 : Serres Ovation - Complexe 2 - Flux photonique parcelle HPS et le Tableau 3 à la page 20. Le bilan agronomique démontre que dans ce contexte, l'utilisation de l'EA en mai a permis d'avoir un impact significatif sur la production du mois de juin.

Le Tableau 25 donne une estimation de la densité normale du flux photonique photosynthétique pour Montréal selon les mois et la compare à ce qui a été mesuré chez Serres Ovation à Lanoraie.

¹⁷ <http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=content/1-2-2-chlorophyll-absorption-and-photosynthetic-action-spectra>

¹⁸ Annexe B, fiche technique GE, Graphique : *Spectral power distribution, Plant sensitivity curve*.

Tableau 25 : Serres Ovation - Densité du flux photonique photosynthétique anticipé pour Montréal de janvier à juin selon la normale et mesurée en 2013 ^A

Mois	Longueur des jours	DFPP ^{B C} normale à l'extérieur de la serre	DFPP ^B moyenne	DFPP mesurée ^D à l'extérieur de la serre	Écart par rapport à la normale
	heures	mol m ⁻² d ⁻¹	µmol m ⁻² s ⁻¹	mol m ⁻² d ⁻¹	%
Janvier	9,2	9,0	190		
Février	10,3	15,1	285	15,2	1
Mars	11,7	25,0	415	24,4	-3
Avril	13,2	38,9	573	31,8	-18
Mai	14,4	49,8	672	36,9	-26
Juin	15,1	54,8	706	34,6	-37

^A Valeurs anticipées si le taux de transmission de lumière naturelle dans la serre est de 70 %.

^B Densité du flux photonique photosynthétique.

^C DFPP lumière naturelle : moyenne des années 1980 à 2008 pour Montréal, tiré de la présentation : Our Lighting Experiences in Québec Martine Dorais, PhD., AAFC researcher and adjunct professor, Horticultural Research Centre, Laval University, Québec. Ces données proviennent de la transformation des MJ m⁻² d⁻¹ du tableau en mol m⁻² d⁻¹

^D DFPP lumière à l'extérieur. Capteur corrigé pour concorder avec le calculateur *Clearsky* à Lanoraie (Serres Ovation), mesurée en 2013. Pour la période du 17 février au 14 mars, ce sont cependant les données de lumière extérieure de Les Serres Lefort qui ont été utilisées fois un facteur de correction pour Lanoraie de 0,95 afin qu'il y ait concordance avec le calculateur de *ClearSky* et pour tenir compte de sa situation géographique à l'est de Montréal et près du fleuve. <http://clearskycalculator.com/quantumsensor.htm>.

Radiations à l'intérieur de la serre

Le montage expérimental initial pour faire le bilan lumineux s'est avéré inadéquat pour mesurer de façon cohérente la lumière transmise de l'extérieure et encore plus pour ce qui est de l'apport de l'éclairage artificiel. La cohérence des résultats entre les parcelles ne pouvait être obtenue avec cette méthode de mesurage (voir la section 3.1.2.1 à la page 43).

Un pourcentage de transmission s'appliquant sur la radiation extérieure a donc été utilisé pour calculer la radiation dans le PAR disponible dans la serre pour la culture. En prenant comme hypothèse que la quantité de lumière naturelle transmise dans les trois parcelles expérimentales d'une même serre était très semblable, cette procédure pour obtenir la radiation intérieure élimine la variance des résultats provenant de la méthode de mesurage prévue initialement et favorise surtout une cohérence pour l'analyse des résultats.

Les taux de transmission pour le complexe 1 et le complexe 2 ont été mesurés et évalués le 4 juin 2013 (entre 11 h 35 et 11 h 58) lors d'une journée pleinement ensoleillée; les résultats sont rapportés dans le Tableau 26.

Tableau 26 : Serres Ovation - Évaluation du taux de transmission de la lumière extérieure dans le PAR, le 4 juin 2013

	Complexe 1	Complexe 2
Taux de transmission	73,6 %	72,7 %

Pour les mois de février, mars et avril, il est probable que le taux de transmission ait été plus faible, étant donné que l'élévation maximale du soleil le 4 juin est de 66,50 degrés à Lanoraie comparés à 57,08 degrés le 24 avril (date médiane du bilan lumineux) et 32,30 degrés le 17 février (date du début du bilan lumineux). Le *Schéma 9: Serres Ovation - Localisation spatiale (hauteur et orientation) du soleil pour différentes périodes* illustre pour différentes dates et heures le niveau d'élévation du soleil. Le niveau d'élévation du soleil affecte le taux de transmission des radiations solaire surtout lors de journée ensoleillée (rayonnement direct). Il serait important de considérer cette différence si les essais s'étaient déroulés principalement durant la période d'octobre à mars; à ce moment-là, le taux de transmission pourrait être de 3 à 5 % inférieur et serait également influencé par l'orientation de la serre (voir le Schéma 1 à la page 28).

Le programme d'éclairage artificiel et son apport au bilan lumineux.

Le programme d'éclairage artificiel a été fait en fonction d'une photopériode d'une durée de 17 heures par jour, la période d'éclairage de nuit débutant 2 heures avant le coucher du soleil sans égard à l'ensoleillement et à la lumière cumulée durant le jour. L'EA débutait le matin 0,5 heure après le lever du soleil pour une période d'environ 2,5 heures et fonctionnait par la suite selon l'intensité lumineuse extérieure (voir les détails du programme d'EA à la page 54). La proximité des luminaires HPS de la tête des plants donnait une contrainte sur le nombre d'heures de fonctionnement lorsque qu'il y avait ensoleillement limitant ainsi l'apport de l'EA. Tableau 27 dresse un profil du fonctionnement de l'EA pour la période du 15 mars au 26 mai.

Tableau 27 : Profil du fonctionnement de l'éclairage de photosynthèse selon le niveau d'ensoleillement

Caractéristique	Complexe 1 # jours	Complexe 2 # jours	moyenne 1 h/j	moyenne 2 h/j	Conditions météo
# total de jours	73	73	12,4	12,4	
# jours avec 1 allumage, sans arrêt	9	9	16,7	16,7	Ennuagement complet
# jours avec 2 allumages	42	38	12,1	10,8	Généralement ensoleillé
# jours avec plus de 2 allumages	22	26	15,7	13,2	Variable
Moyenne du nombre d'allumages par jour	2,29	2,36			

Pour les deux complexes, la contribution de l'éclairage artificiel au bilan lumineux a été calculée à partir de l'intensité théorique du flux photonique de 177,6 et de 95,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ pour le luminaire HPS et le luminaire DEL respectivement. Ce niveau d'intensité donne un apport de 0,639 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ et de 0,345 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$ pour chaque heure d'éclairage avec le luminaire HPS et DEL respectivement (voir le Tableau 35 et le Tableau 36). Pour l'intensité dans la parcelle HPS, étant donné qu'il y avait un luminaire non fonctionnel dans chaque complexe, l'intensité moyenne de la parcelle a été réduite de 5,5 % ($187,9 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s} \times 94,5 \%$).

Les écarts trop variables et importants entre l'intensité calculée à partir du flux lumineux et de données techniques, et entre l'intensité lumineuse mesurée par échantillonnage, nous oblige à utiliser le flux original du luminaire pour quantifier correctement par rapport à la lumière naturelle, l'apport de l'éclairage artificiel que le plant a reçu. De plus, pour réaliser par la suite et de façon objective l'évaluation économique, il faudra, de toute façon, utiliser l'intensité calculée à partir du flux lumineux et de données techniques (voir le Tableau 37).

Tableau 28 : Apport de l'éclairage artificiel selon l'intensité théorique par parcelle expérimentale pour un même nombre d'heures éclairées

	Complexe 1		Complexe 2	
	HPS	DEL	HPS	DEL
Intensité mesurée ^A $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	140,3	94,4	158,2	81,0
Intensité théorique ^B $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	177,6	95,7	177,6	95,7
Apport lumineux (1 heure d'EA) $\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$	0,505	0,341	0,570	0,291
Apport lumineux (12,4 heures d'EA) $\text{mol}/\text{m}^2/\text{j}$	7,91	4,26	7,92	4,27

^A Moyenne du 26 mars 2013, 63 points de mesure par parcelle.

^B Le Tableau 35 et le Tableau 36 - Conciliation du flux original d'un luminaire avec l'intensité mesurée - Parcelle HPS réduite de 5,5 % à cause d'un luminaire non fonctionnel ($187,9 \times 94,5 \% = 177,6 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$).

Par rapport à la lumière naturelle et durant la période d'éclairage de 73 jours, l'apport de l'éclairage artificiel fut en moyenne de 33,4 % dans la parcelle HPS et de 18,0 % dans la parcelle DEL avec peu de différence entre les deux complexes. Pour toute la période du bilan lumineux, 133 jours, ayant influencé le niveau de production, l'apport de l'éclairage artificiel fut en moyenne de 19,7 % dans la parcelle HPS et de 10,6 % dans la parcelle DEL. Ces contributions élevées pour la période où se sont déroulés ces essais proviennent du fait que le niveau de radiations solaires ait été plus bas que la normale durant cette saison.

La différence d'apport entre le Luminaire HPS et le luminaire DEL est importante, environ 43 %. L'utilisation d'une lentille pour concentrer la lumière a réduit de 15 à 17% l'apport du luminaire DEL. L'autre raison est la contrainte budgétaire du budget et la taille des parcelles expérimentales (4 X 20 tiges) afin de pouvoir mesurer adéquatement les différences de production entre les 3 parcelles. Cet aspect sera traité dans la section du bilan agronomique.

D'autre part, le profil de la répartition des longueurs d'onde des luminaires DEL a été conçu pour optimiser l'action photosynthétique et la performance des cultures faisant l'objet de ces essais (voir profil lumineux des luminaires DEL section méthodologie); de plus, l'utilisation des lentilles permet une plus grande concentration du flux photonique à l'intérieur du rang entre les plants où la lumière naturelle a peu d'accès. Ces deux facteurs pallient partiellement pour cette différence d'apport lumineux entre les deux montages expérimentaux.

Tableau 29 : Serres Ovation - Bilan flux photonique cumulé dans le PAR (mol/m²)

Traitement	Complexe 1			Complexe 2		
	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Heures éclairées						
Total des heures	903,6	903,6		904,0	904,0	
Moyenne heures / jour éclairé	12,4	12,4		12,4	12,4	
Radiation à l'extérieur						
Total mol / m ²	4 005,4	4 005,4	4 005,4	4 005,4	4 005,4	4 005,4
mol/m ² /j	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1
Radiation à l'intérieur^A						
Total mol / m ²	2 947,9	2 947,9	2 947,9	2 911,9	2 911,9	2 911,9
mol/m ² /j	22,2	22,2	22,2	21,9	21,9	21,9
Apport de l'EA^B						
Total mol / m ²	577,8	311,3		578,0	311,4	
mol/m ² /j	4,3	2,3		4,3	2,3	
mol/m ² /jour éclairée	7,9	4,3		7,9	4,3	
Radiation totale à l'intérieur						
Total mol / m ²	3 525,7	3 259,2	2 947,9	3 489,9	3 223,3	2 911,9
mol/m ² /j	26,5	24,5	22,2	26,2	24,2	21,9
Addition par l'EA						
Durant la période de l'EA	33,2%	17,9%		33,6%	18,1%	
Durant la période du bilan	19,6%	10,6%		19,9%	10,7%	
Durée de la période d'éclairage artificielle: 73 jours du 15 mars au 26 mai						
Durée du bilan du flux photonique: 133 jours du 17 février au 29 juin						

^A Le taux de transmission de la lumière dans le complexe 1 a été mesuré comme étant 73,6 % et celui du complexe 2 comme étant de 72,7 %. Voir l'Annexe 13.

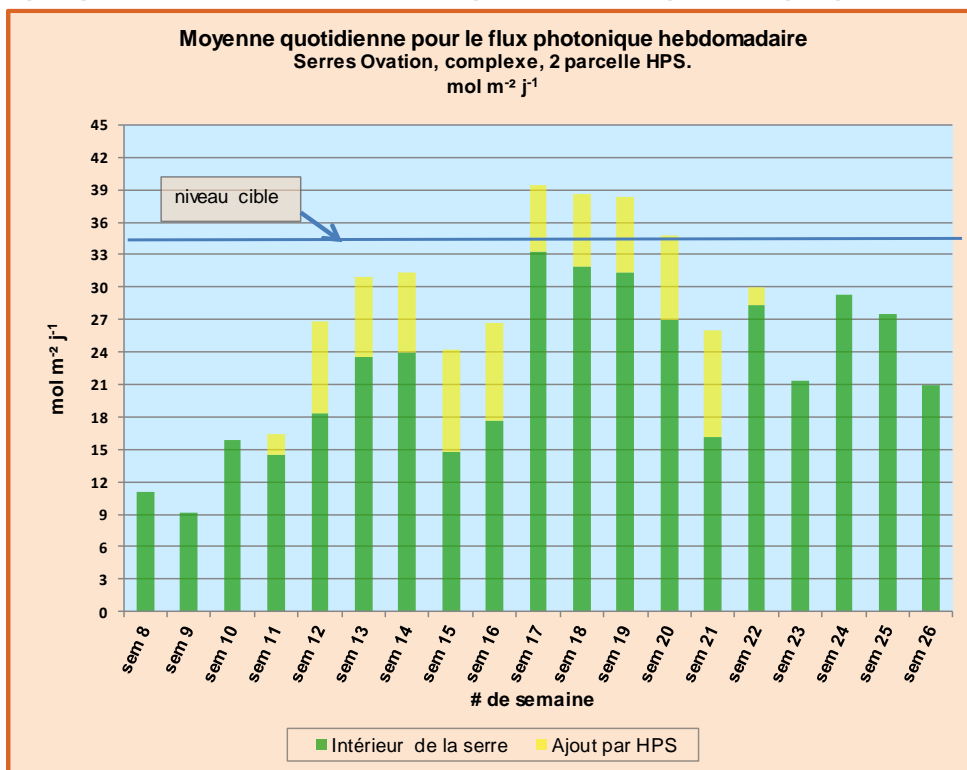
^B Pour les 2 complexes, l'apport de l'EA a été calculé à partir de l'intensité théorique du flux photonique de 177,6 et de 95,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le luminaire HPS et le luminaire DEL respectivement. Ce niveau d'intensité donne un apport de 0,639 $\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ et de 0,345 $\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$ pour chaque heure d'éclairage avec le luminaire HPS et DEL respectivement. Voir le bilan détaillé à l'Annexe 14.

Avec le Graphique 5 et le Graphique 6, on remarque que le niveau souhaitable de 35 moles par jour pour la culture de la tomate n'a été atteint, grâce à l'ajout de l'EA HPS et du DEL, que durant les semaines 17 à 20 (du 21 avril au 18 mai). Le calendrier associé au numéro des semaines est disponible au Tableau 30. Le programme d'éclairage avec une photopériode de 17 heures et une structure d'opération permettant 12,4 heures par jour d'éclairage de photosynthèse, était donc tout à fait approprié compte tenu de la puissance du système d'éclairage artificiel tel qu'installé et de ce niveau de radiation à l'intérieur de la serre.

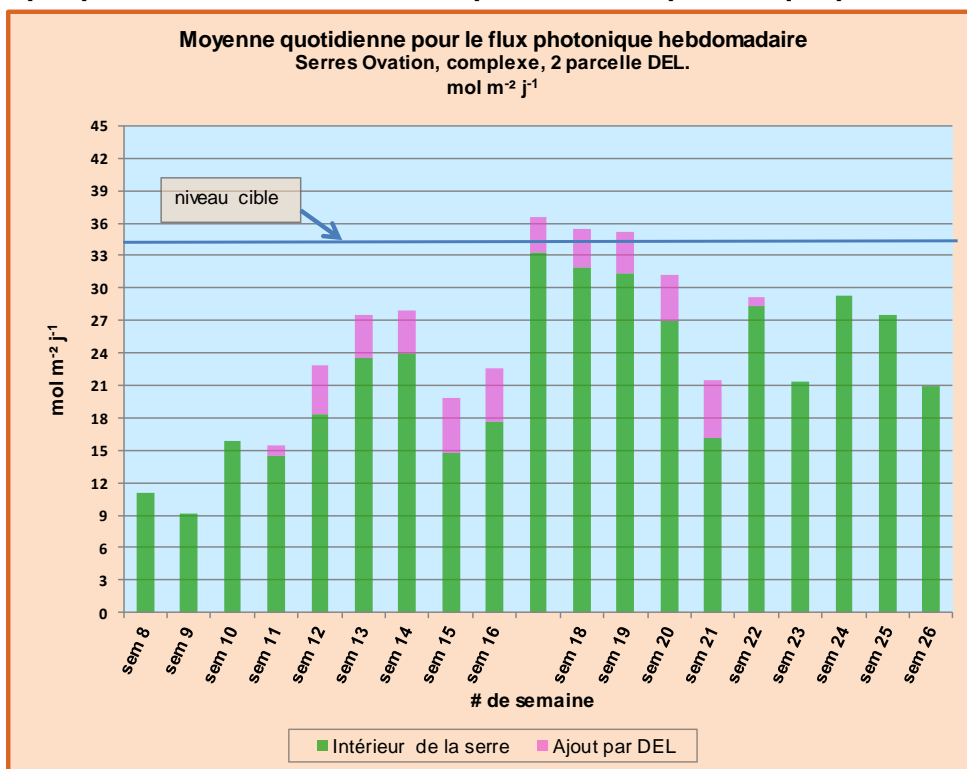
Tableau 30 : Serres Ovation - Calendrier associé aux semaines

Semaine	Début	Fin
	aaaa-mm-jj	aaaa-mm-jj
8	2013-02-17	2013-02-23
9	2013-02-24	2013-03-02
10	2013-03-03	2013-03-09
11	2013-03-10	2013-03-16
12	2013-03-17	2013-03-23
13	2013-03-24	2013-03-30
14	2013-03-31	2013-04-06
15	2013-04-07	2013-04-13
16	2013-04-14	2013-04-20
17	2013-04-21	2013-04-27
18	2013-04-28	2013-05-04
19	2013-05-05	2013-05-11
20	2013-05-12	2013-05-18
21	2013-05-19	2013-05-25
22	2013-05-26	2013-06-01
23	2013-06-02	2013-06-08
24	2013-06-09	2013-06-15
25	2013-06-16	2013-06-22
26	2013-06-23	2013-06-29

Graphique 5 : Serres Ovation - Complexe 2 - Flux photonique parcelle HPS



Graphique 6 : Serres Ovation - Complexe 2 - Flux photonique parcelle DEL



Distribution de la lumière par le système d'EA

La Photo 2 (p. 44), le Schéma 7 (p. 47), le Schéma 8 (p. 48), l'Annexe 2 (p. 166) et l'Annexe 3 (p. 167) décrivent la localisation des parcelles et la position des luminaires HPS et DEL dans chacune des parcelles expérimentales.

Il y a eu deux prises de mesures pour l'intensité lumineuse de l'éclairage artificielle, soient le 26 mars et le 14 mai. Pour tenter de mesurer l'intensité moyenne de la lumière artificielle, un mesurage dans le sens transversal sur deux positions (2 de 4; points B et C sur le schéma de l'Annexe 3) a été fait à un mètre du luminaire (angles de 0 degré et de 36,9 degrés). Cette distance, même si non souhaitable pour obtenir une répartition égale de la lumière sur le plan horizontal, a été choisie afin d'avoir une prise de mesures au dessus de la tête des plants pour tenter d'éviter l'interférence de la canopée, la culture lors du mesurage étant presque à cette hauteur lors du premier mesurage le 26 mars 2013.

Pour le mesurage du 26 mars, il y a eu 84 points de mesure par parcelles éclairées. Sur le plan longitudinal, il y a sept points de mesure sur une distance de 11,0 m (36 pi). Sur le plan transversal et vertical, il y a eu quatre points de mesure. Pour le mesurage du 14 mai, il y a eu 63 points de mesure par parcelles éclairées.

i. Sur le plan longitudinal, il y a sept points de mesure sur une distance de 11,0 m (36 pi).

ii. Sur le plan transversal et vertical, il y a eu trois points de mesure.

Le schéma de l'Annexe 3 montre cinq points de mesure sur le plan vertical.

Le premier mesurage a été fait aux quatre points A, B, C et D.

Le deuxième mesurage a été fait aux trois points B, D et E.

Le point A (1 de 4) qui était à 0,36 mètre du luminaire, n'a pas été retenu pour faire la moyenne étant donné que son coefficient de variation dépassait le 100 % pour le HPS et 55 % pour le DEL. Le point D (1 de 4) était à 2,36 m du luminaire et à 14,4 degrés et subissait l'interférence la canopée.

Les luminaires DEL étaient dotés de lentilles elliptiques qui concentraient l'émission de la lumière. L'angle de dispersion elliptique que donnent ces lentilles était de 44 degrés dans le sens perpendiculaire à la lampe (donnant 22 degrés chaque côté) et de 17 degrés dans le sens longitudinal de lampe selon la norme FWHM (« Full With Half Maximum intensity»). La lentille primaire de la DEL utilisée émet sur un angle circulaire de 120 degrés FWHM. Ces angles de dispersion ne produisent cependant pas des coupures nettes. Ceci a pour conséquence qu'une bonne partie de l'émission se concentre surtout à l'intérieur des broches de support de culture là où la lumière naturelle pénètre peu (en comparaison de l'allée; voir l'Annexe 2). Étant donné la hauteur à laquelle les plants ont été maintenus, cet éclairage se situait presque qu'à l'intérieur de la canopée. Cela pouvait sans doute pallier pour l'atténuation d'intensité de 15 % à 17 % causée par l'utilisation de cette lentille.

Le Tableau 31, le Tableau 32, le Tableau 33 et le Tableau 34 présentent la moyenne des valeurs d'intensité lumineuse et des écarts types pour la prise de données du 26 mars 2013 faite pour les luminaires DEL et HPS dans les complexes 1 et 2. Ces tableaux proviennent des données et sommaires de l' : Annexe 20, Annexe 21, Annexe 22 et Annexe 23. On peut y constater que les coefficients de variation sont très élevés pour le HPS lorsque les mesures étaient prises à un mètre du luminaire. Ceci démontre qu'un mètre est beaucoup trop près pour obtenir une distribution égale de la lumière avec les luminaires HPS.

Tableau 31 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars 2013 pour la parcelle DEL ^A

	Directement sous la lumière	Vis-à-vis la tête des plants	Dans l'allée bordures feuilles	Moyenne bcd
Position	b	c ^B	d	
Moyenne $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	132,6	106,1	44,5	94,4
Écart type $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	20,7	16,6	7,1	14,8
Coefficient de variation	15,6 %	15,6 %	16,1%	15,7 %

^A 63 points de mesure.

^B Valeur « c » ajustée (80 % de « b ») et l'angle pour « c » est de 16 °.

Tableau 32 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars 2013 pour la parcelle HPS ^A

	Directement sous la lumière	Vis-à-vis la tête des plants	Dans l'allée bordures feuilles	Moyenne bcd
Position	b	c ^B	d	
Moyenne $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	156,0	188,5	75,9	140,2
Écart type $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	69,8	94,6	18,5	61,0
Coefficient de variation	44,7 %	50,2 %	24,4 %	43,5 %

^A 63 points de mesure.

^B Note : l'angle pour « c » est de 37°.

Tableau 33 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars pour la parcelle DEL ^A

	Directement sous la lumière	Vis-à-vis la tête des plants	Dans l'allée bordures feuilles	Moyenne bcd
Position	b	c²	d	
Moyenne $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	123,1	98,5	21,3	80,9
Écart type $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$	30,5	24,4	7,4	20,8
Coefficient de variation	24,8 %	24,8 %	35,0 %	25,7%

^A 63 points de mesure.

^B Valeur « c » ajustée (80 % de « b ») et l'angle pour « c » est de 16°.

Tableau 34 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne des valeurs d'intensité lumineuse pour la prise de données du 26 mars pour la parcelle HPS ^A

	Directement sous la lumière	Vis-à-vis la tête des plants	Dans l'allée bordures feuilles	Moyenne bcd
Position	b	c ^B	d	
Moyenne $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$	158,8	259,4	56,6	158,2
Écart type $\mu\text{mol} / \text{m}^2 / \text{s}$	78,5	152,9	14,1	81,8
Coefficient de variation	49,4 %	58,9 %	25,0 %	51,7 %

^A 63 points de mesure.

^B Note : l'angle pour « c » est de 37°.

Nous ne présentons pas ici les résultats du mesurage du 14 mai étant donné que la tête des plants était à une distance de 20 à 50 cm du luminaire causant ainsi beaucoup de variation dans les lectures. L'ensemble des données du 26 mars et du 14 mai 2013 peuvent être consultées à l'Annexe 24. La Photo 5 et la Photo 6 présentent respectivement les parcelles DEL et HPS.

Photo 5 : Serres Ovation - Complexe 1, le 14 mai 2013, parcelle DEL



Note : Photo sans flash. À remarquer la hauteur des plants non abaissés dans le rang de gauche et la hauteur des plants abaissés dans le 3ème rang à la droite. Aussi la présence de ventilateur à flot horizontal pour uniformiser la chaleur la chaleur de l'air (partie supérieure droite). Photo : *LED Innovation Design*.

Photo 6 : Serres Ovation - Complexe 1, le 14 mai 2013, parcelle HPS



Note : Photo sans flash. Plants venant d'être abaissés. Aussi la présence de ventilateur à flot horizontal pour uniformiser la chaleur la chaleur de l'air. Photo de *LED Innovation Design*.

Conciliation du flux original du luminaire avec l'intensité mesurée

Le Tableau 35 et le Tableau 36 font le lien par conciliation entre le flux lumineux original émis selon la fiche technique de l'ampoule et le mesurage effectué en identifiant et quantifiant les principales pertes subséquentes ou non à l'émission.

Pour le mesurage du 26 mars et la parcelle DEL du complexe 1 de Serres Ovation (Tableau 35), tout comme chez Les Serres Lefort, une faible quantité est requise pour faire la conciliation du flux original d'un luminaire DEL avec l'intensité mesurée, environ 1,4 % et ce, malgré le fait d'être à seulement 1 mètre de distance pour deux des trois points retenus pour la prise de mesure afin d'estimer l'intensité moyenne ($94,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$). Cependant, nous ne retrouvons pas ce niveau de concordance dans la parcelle HPS du complexe 1 au 26 mars. Au Tableau 36, nous constatons que la quantité requise pour faire la conciliation entre le flux original d'un luminaire HPS avec l'intensité mesurée, est de 25,4 % ce qui signifie que l'intensité mesurée se situe à 74,6 % de ce que donnerait le flux original.

Tableau 35 : Serres Ovation - Parcelle DEL - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire DEL avec l'intensité mesurée

Description		Flux	Intensité	Pertes ^A	Sources et notes
	Équation pour le flux	µmol/sec	µmol/m ² /sec	%	
Flux original émis par les DEL d'un luminaire ^B	A	485	123,1	n/a	LED Innovation Design
Réduction du flux selon les heures d'utilisation		485	123,1	n/a	Lampe neuve donc aucune réduction à appliquer.
Atténuation par la lentille directionnelle ^C		410	104,0	15,5 %	Fiche technique Carclo Optics ¹⁹ et estimation de LED Innovation Design
Atténuation par la vitre de protection		377	95,7	8,0 %	Led Innovation Design, Evonik industries, etc.
Pertes nettes dans les parcelles attenantes ^D sans éclairage, 1 coté sur 4		377	95,7		Non applicable pour ce montage et cette conciliation.
Total des pertes de flux par rapport au flux original émis	B	108		22,3 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Quantité de pertes additionnelles requises pour être égale au mesurage ^D	C	58		1,4 %	Conciliation avec le mesurage de 94,4 µmol/m ² /sec et le flux résiduel
Mesurage complexe 1 26 mars 2013	D=A-(B+C)	372	94,4	23,3 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Densité surfacique des luminaires	$3,94 = \frac{372}{94,4}$	3,94 m²/unité			Caractéristiques techniques des lampes HPS et DEL

^A Le % de perte s'applique sur le flux de la ligne précédente (flux résiduel).

^B Smart Bar de 2,44 mètres de long, conception 2013 pour l'essai chez Serres Ovation, production de tomates de serre.

^C Lentille pour concentrer le rayonnement uniquement dans la parcelle. Le fabricant de la lentille, Carclo, rapporte 83% de transmittance, mais c'est pour une DEL différent que celui utilisé dans les luminaires de l'essai. Selon Led Innovation Design, le taux de transmittance est plus élevé.

^D Pertes dues à un manque de recoupage comparées à une serre dont la superficie serait complètement éclairée (effet de bordure). Il y a peu d'effet étant donné la courte distance entre le luminaire et la canopée.

^E Conciliation du flux original du luminaire DEL avec l'intensité mesurée, complexe 2, 26 mars 2013.

¹⁹ Annexe 7 : Caractéristiques de l'éclairage DEL chez Les Serres Lefort et Serres Ovation

Tableau 36 : Serres Ovation - Parcelle HPS - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire A HPS avec l'intensité mesurée

Description		Flux	Intensité	Pertes ^B	Sources et notes
	Équation pour le flux	µmol/sec	µmol/m ² /sec	%	
Flux original émis par l'ampoule ^B	A	1 200	203,0	n/a	Fiche technique GE août 2013 ²⁰
Réduction du flux avec 9 000 heures d'utilisation		1 200	203,0	n/a	Non applicable, car lampe neuve. Fiche technique GE août 2013
Sous-consommation électrique : 673 W au lieu de 678 W		1 200	203,0	0,0 %	Mesurage essai 2013 et hypothèse que le ballast magnétique utilise 11,5% de l'énergie totale électrique mesurée.
Atténuation par le réflecteur		1 122	189,8	6,5 %	Fiche technique : Alanod (www.alanod.com) ^C
Pertes nettes dans les parcelles attenantes ^D sans éclairage, 2 côtés sur 4		1 111	187,9	1,0 %	Peu d'effet à cause du montage expérimental et de la proximité du luminaire de la tête des plants.
Total des pertes de flux par rapport au flux original émis	B	89		7,4 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Quantité de pertes additionnelles requises pour obtenir la parité avec le mesurage ^E	C	282		25,4 %	Conciliation avec le mesurage de 140,2 µmol/m ² /sec et le flux résiduel
Mesurage complexe 1 26 mars 2013	D=A-(B+C)	829	140,2	22,1 %	Différence entre le flux original émis et le dernier flux après la dernière perte
Densité surfacique des luminaires	$5,91 = \frac{829}{140,2}$	5,91 m²/unité			Caractéristiques techniques des lampes HPS et DEL et traitements

^A Le % de perte s'applique sur le flux de la ligne précédente (flux résiduel).

^B Ampoule tubulaire HPS 600 W, Phillipps GreenPower E401SL

^C Pour le matériel utilisé pour la fabrication des réflecteurs, le manufacturier rapporte une réflectance lumineuse d'un minimum de 95 %. Cependant, le réflecteur d'un luminaire n'est jamais parfaitement propre et dépendamment de sa conception, une proportion des photons émis par la lampe peuvent heurter plus d'une fois le réflecteur, d'où le choix d'un minimum de 6,5 % de pertes.

^D Pertes dues à un manque de recoupage comparées à une serre dont la superficie serait complètement éclairée (effet de bordure). Il y a peu d'effet étant donné la courte distance entre le luminaire et la canopée.

^E Conciliation du flux original de l'ampoule HPS avec l'intensité mesurée, complexe 2, parcelle HPS.

²⁰ Annexe 6 : Caractéristiques de l'éclairage HPS chez Les Serres Lefort et Serres Ovation

Le Tableau 37 nous donne le sommaire du niveau d'intensité obtenu lors des différentes prises de données par rapport celui que l'on devrait obtenir à partir du flux original.

Tableau 37 : Serres Ovation - Niveau moyen d'intensité lumineuse obtenu lors des différentes prises de données par rapport au niveau théorique à partir du flux original (%)

Date du mesurage	Luminaire HPS ^A		Luminaire DEL ^B	
	Complexe 1	Complexe 2	Complexe 1	Complexe 2
26 mars	74,6 %	84,2 %	98,6 %	84,6 %
14 mai	49,9%	65,2 %	59,9 %	61,5 %

^A Niveau de référence pour la parcelle HPS 187,9 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$

^B Niveau de référence pour la parcelle DEL 95,7 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$

Les raisons de ces écarts sont principalement dues à la proximité de la prise de mesure (1 mètre du luminaire pour deux points de mesure) afin d'avoir une prise de mesures au dessus de la tête des plants pour tenter d'éviter l'interférence de la canopée. Cela affecte principalement le mesurage de la parcelle HPS. Peine perdue, la canopée a interféré avec la prise des mesures à l'exception de celle du 26 mars dans le complexe 1. Pour les autres mesurages (26 mars complexe 2 et le 15 mai pour les deux complexes), les têtes de plant étaient souvent à moins de 1 mètre des luminaires créant de l'interférence entre les luminaires et le capteur.

3.2. Dresser le bilan climatique

3.2.1. Les Serres Lefort

3.2.1.1. Démarche

Pour dresser le bilan climatique, les données suivantes ont été recueillies et traitées pour chacune des serres 36 et 37 selon les parcelles, les lots et pour diverses périodes. Les périodes pouvaient être sur une base mensuelle ou journalière dictée entre autre par le lever et le coucher du soleil.

- Température à l'extérieure de la serre
- Consignes de chauffe des serres
- Taux de CO₂ des serres
- Température aérienne des serres
- Humidité relative des serres
- Température du substrat

Température extérieure - Consignes de chauffe des serres - Taux de CO₂ des serres

La prise de ces données s'est effectuée avec le système de contrôle et d'acquisition de données PRIVA de l'entreprise. Les données étaient exportées dans un format compatible avec un chiffrier Excel.

Température aérienne

Un capteur de température de la compagnie Onset Computer (Hobo) a été installé à environ 30,5 cm au-dessus des plateaux au milieu de chaque parcelle expérimentale à environ 30,5 cm de l'allée : six capteurs (1 x 3 x 2).

Le capteur était protégé contre le rayonnement du soleil et des lampes. Il pouvait être installé dans une bouteille d'eau de 250 ml protégé par une feuille d'aluminium servant de réflecteur contre le rayonnement. La bouteille de 250 ml constitue un filtre équivalent à une moyenne de 20 minutes pour la température ambiante.

Cette procédure n'était pas suivie si le capteur d'humidité était intégré au capteur de température. Dans ce cas, le capteur était protégé seulement contre le rayonnement et l'arrosage (3 X 2 = 6).

Humidité relative

Les capteurs qui mesuraient l'humidité relative provenaient de la compagnie Onset Computer. Le capteur mesurait simultanément l'humidité relative et la température. Le capteur était protégé seulement contre le rayonnement et l'arrosage (3 X 2 = 6).

Température du substrat

Il y avait deux capteurs de température par parcelle installés dans les alvéoles au milieu de chaque parcelle expérimentale de chaque côté de l'allée : 12 capteurs (2 x 3 x 2).

3.2.1.2. Résultats, analyses et discussions

Conduite climatique

La chauffe par air chaud est contrôlée par un capteur de température dans une cage aspirante située sous la gouttière entre la serre 36 et 37 et au milieu de la serre dans le sens longitudinal. Cette position correspond à celle de la parcelle avec l'éclairage DEL. La cage aspirante est à environ 1 mètre au-dessus des plateaux de culture. Les capteurs pour la température de l'air des parcelles expérimentales sont qu'à eux à une hauteur de 20 cm au-dessus des plateaux et au milieu des parcelles.

Les consignes moyennes de chauffe sont décrites dans le Tableau 38. La consigne de ventilation est réglée selon la température ambiante à 21,0 °C.

Tableau 38 : Les Serres Lefort - Consigne de chauffe selon la période du jour (°C) et le mois^A

Mois	Période du jour			
	Lever du soleil à 9 h 00	9 h 00 au coucher du soleil	Coucher du soleil 3 h 00	3 h 00 au lever du soleil
	°C	°C	°C	°C
Février	10,0	12,0	12,0	11,0
Mars	12,0	13,0	13,0	11,0
Avril	13,0	13,0	13,0	12,0

^A Les périodes liées aux consignes de chauffe de l'entreprise et celles choisies pour le projet ne sont pas nécessairement les mêmes. Les valeurs rapportées sont celles de l'entreprise et non des données compilées.

Résultats globaux pour les températures

La moyenne de température de toutes les parcelles et pour chacun des lots a suivi l'évolution de l'apport de lumière et de chauffage radiant provenant du climat extérieur tel qu'on peut le constater dans le Tableau 39.

Tableau 39 : Les Serres Lefort - Moyennes de température intérieure de chaque lot comparé aux moyennes de la température et de la radiation solaire extérieures

Date de fin du lot	Température moyenne 24 h des 3 parcelles	Température moyenne de 9 h au coucher du soleil	Température moyenne extérieure	Moyenne lumière à l'extérieur
	°C	°C	°C	mol / m ² / jour
Serre 36, 12 mars	14,1	18,8	-2,1	17,75
Serre 37, 18 mars	14,6	19,1	-1,5	18,56
Serre 36, 9 avril	16,2	22,6	1,5	31,77
Serre 37, 16 avril	16,0	21,5	1,5	29,31

Les données du Tableau 39 proviennent des tableaux suivants : Tableau 42, Tableau 43, Tableau 44, Tableau 45. Ces tableaux nous illustrent les résultats climatiques obtenus dans

chacune des parcelles expérimentales pour chacune des serres, pour chacun des lots et pour chaque période du jour. Ces tableaux sont à la fin de cette section.

Différences de températures entre les parcelles

Le **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** et le Tableau 41 analysent les écarts de température entre les parcelles pour chacune des serres. Pour comprendre les différents écarts de températures, il faut savoir que nous avons un chauffage par air chaud et par ballons sous les tables et dont les entrées sont à l'extrémité nord.

Sur le schéma présenté à l'Annexe 1 qui illustre la disposition des parcelles, nous pouvons remarquer que les parcelles sont en série dans le sens longitudinal et dans la même séquence pour les deux serres soit HPS au Nord, DEL au centre et Témoin au Sud (voir la Photo 10 : Les Serres Lefort - Vue d'ensemble des parcelles).

Le **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** est construit à partir des tableaux suivants : Tableau 42, Tableau 43, Tableau 44, Tableau 45. Le **Erreur ! Référence non valide pour un signet.** montre qu'il y a eu un gradient décroissant de température du Nord vers le Sud; ce tableau fait la moyenne des différences de température par rapport à la parcelle « Témoin » et pour les deux lots de chacune des serres. La parcelle HPS a donc été la plus chaude et la parcelle « Témoin » la plus froide. Le substrat jouant un rôle tampon pour la température, ce gradient reste difficile à éliminer même avec des ventilateurs HAF.

On pourrait croire que c'est uniquement la chauffe du HPS qui a créé ce gradient, mais cela ne semble pas être le cas puisque, tel qu'illustré durant les deux périodes sans éclairage, un gradient dans le sens longitudinal par rapport au témoin reste. Cet élément est susceptible d'amplifier la réponse de croissance avec les parcelles ayant de l'éclairage artificiel. On peut distinguer également dans ce tableau que durant le jour et durant la période éclairée, l'éclairage HPS faisait augmenter davantage la température comparée à celle avec l'éclairage DEL. Durant la nuit, on peut remarquer davantage l'effet radiant de l'éclairage DEL.

Durant le jour, lorsque les parcelles étaient éclairées, la différence de température entre la parcelle HPS et la parcelle DEL s'accroissait et la température de la parcelle DEL était très proche de celle de la parcelle témoin. Ceci est à retenir puisque c'est durant cette période que s'effectue la plus grande partie de la photosynthèse. Ceci peut s'expliquer par le fait que, durant le jour, le système de chauffe par les ballons d'air chaud sous les tables fonctionne peu comparé à la période durant la nuit et qu'ainsi le gradient qu'il crée entre les parcelles dans le sens longitudinal se trouve très réduit durant le jour, la chaleur provenant surtout du rayonnement solaire et de celui des lampes. De plus lorsqu'il y a ventilation durant le jour, la température de l'air ambiant est davantage uniformisée. Ainsi durant le jour, il ne reste, pour la plupart du temps, que l'effet radiant des lampes pour augmenter la température du substrat et du feuillage.

Tableau 40 : Les Serres Lefort - Moyenne des écarts de température des parcelles éclairées vs le témoin pour les deux lots de chacune des serres et selon les périodes du jour avec et sans éclairage

	Serre 36			Serre 37		
	Sans EA	Avec EA		Sans EA	Avec EA	
	3 h à 9 h	9 h à 18 h	18 h à 3 h	3 h à 9 h	9 h à 18 h	18 h à 3 h
	°C	°C	°C	°C	°C	°C
Substrat HPS	1,1	1,2	1,6	0,6	1,0	0,7
Substrat DEL	1,2	0,2	1,2	0,4	(0,3)	0,6
Air HPS	0,6	1,4	1,0	0,4	1,1	1,0
Air DEL	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,5

Le 9 avril, une imagerie thermique de la canopée fut prise dans chacune des parcelles expérimentales des serres 36 et 37 (appareil Fluke Ti20) et près des stations météo faisant la prise des données climatiques. Le lecteur trouvera à l'Annexe 18 les caractéristiques de l'appareil Fluke Ti20 et à l'Annexe 15 les images prises.

À cette date du 9 avril, la serre 36 en était rendue à son 30e jour après son semis et la serre 37 à son 19e jour. Le Tableau 39 nous donne les résultats de ce mesurage. Les températures moyennes (serres 36 et 37) du Tableau 41 sont très près de la moyenne des températures de substrat des tableaux 5 et 8 ci-dessous et pour la période après le coucher du soleil; la température du substrat de la serre 36 est de 13,6 °C et également de 13,6 °C pour la serre 37. Il s'agit là d'un recoupement de données nous assurant de la validité de celles-ci.

Tableau 41 : Les Serres Lefort - Moyenne des températures du feuillage des parcelles éclairées vs le témoin pour chacune des serres ^A

Parcelle	Serre 36		Serre 37	
	Température	Écart vs témoin	Température	Écart vs témoin
	°C	°C	°C	°C
Témoin	13,1		12,6	
HPS	14,3	1,2	13,9	1,3
DEL	13,9	0,8	13,1	0,4
Moyenne	13,8		13,2	

^A Données prises par imagerie thermique en (°C) le 9 avril à 19 h 30.

Tableau 42 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 36 - Lot 1, 16 février au 11 mars 2013

Paramètre	Parcelle	Période du jour débutant à : ^B				Moyenne pondérée	Écart vs Témoin
		6 h 44	9 h 00	17 h 31	3 h 00		
Température extérieure °C	n.d.	-3,2	-1,4	-3,1	-3,7	-2,1	n.d.
Température de substrat °C	Témoin	9,4	17,6	11,9	10,7	13,5	
	HPS	10,3	19,2	13,5	12,0	15,0	1,5
	DEL	10,3	18,1	13,4	12,4	14,6	1,1
Température de l'air °C	Témoin	9,4	18,4	11,8	10,5	13,7	
	HPS	9,9	19,4	12,8	11,2	14,6	1,0
	DEL	9,7	18,6	12,2	11,0	14,1	0,4
Humidité relative %	Témoin	91,6	81,5	91,8	91,1	88,0	
	HPS	87,7	75,3	85,6	86,5	82,3	-5,7
	DEL	90,4	80,0	90,2	89,3	86,5	-1,6
CO ₂ ppm	n.d.	520	661	489	466	596	n.d.

^A Données pour 24 jours pleins. La concentration de CO₂ et la température extérieure sont les mêmes pour chaque parcelle.

^B Les limites de chaque période sont dans l'ordre : le lever du jour, l'allumage des lampes, le coucher du soleil et la fermeture des lampes.

Tableau 43 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 36 - Lot 2, 18 mars au 8 avril 2013

Paramètre	Parcelle	Période du jour débutant à : ^B				Moyenne pondérée	Écart vs Témoin
		5 h 49	9 h 00	18 h 12	3 h 00		
Température extérieure °C	n.d.	-0,5	3,0	-0,3	-0,9	1,5	n.d.
Température de substrat °C	Témoin	12,4	21,2	12,8	11,3	15,5	
	HPS	13,3	22,2	14,3	12,6	16,7	1,2
	DEL	13,4	21,1	13,7	12,6	16,1	0,6
Température de l'air °C	Témoin	12,6	22,0	12,7	11,2	15,7	
	HPS	13,3	23,6	13,7	11,7	16,9	1,1
	DEL	13,1	22,4	13,0	11,4	16,1	0,4
Humidité relative %	Témoin	89,8	66,2	92,1	92,8	82,9	
	HPS	86,9	62,9	88,2	90,3	79,5	-3,4
	DEL	88,8	69,7	92,2	92,5	83,9	1,0
CO ₂ ppm	n.d.	550	506	517	518	523	n.d.

^A Données pour 22 jours pleins. La concentration de CO₂ et la température extérieure sont les mêmes pour chaque parcelle.

^B Les limites de chaque période sont dans l'ordre : le lever du jour, l'allumage des lampes, le coucher du soleil et la fermeture des lampes.

Tableau 44 : Les Serres Lefort - Données climatiques ^A : serre 37 - Lot 1, 21 février au 17 mars 2013

Paramètre	Parcelle	Période du jour débutant à : ^B				Moyenne pondérée	Écart vs Témoin
		6 h 34	9 h 00	17 h 39	3 h 00		
Température extérieure °C	n.d.	-2,6	-0,9	-2,3	-3,3	-1,5	n.d.
Température de substrat °C	Témoin	10,5	18,0	12,3	11,4	14,0	
	HPS	10,9	19,1	13,2	12,1	14,9	0,9
	DEL	10,6	17,7	13,0	12,1	14,3	0,3
Température de l'air °C	Témoin	10,4	18,8	12,1	11,1	14,2	
	HPS	10,8	19,7	12,9	11,7	15,0	0,8
	DEL	10,7	18,9	12,7	11,7	14,6	0,4
Humidité relative %	Témoin	87,9	77,9	87,9	87,1	84,2	
	HPS ^C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	DEL	90,5	80,5	89,3	88,3	81,9	-2,3
CO ₂ ppm	n.d.	524	701	478	466	621	n.d.

^A Données pour 25 jours pleins. La concentration de CO₂ et la température extérieure sont les mêmes pour chaque parcelle.

^B Les limites de chaque période sont dans l'ordre : le lever du jour, l'allumage des lampes, le coucher du soleil et la fermeture des lampes.

^C Capteur défectueux, données non valables.

Tableau 45 : Les Serres Lefort - Données climatiques A : serre 37 - Lot 2, 27 mars au 16 avril 2013

Paramètre	Parcelle	Période du jour débutant à : ^B				Moyenne pondérée	Écart vs Témoin
		5 h 35	9 h 00	18 h 22	3 h 00		
Température extérieure °C	n.d.	-0,5	3,0	-0,3	-0,9	1,5	n.d.
Température de substrat °C	Témoin	12,8	19,9	13,2	11,7	15,3	
	HPS	13,4	20,8	14,1	12,4	16,1	0,9
	DEL	13,0	19,7	13,5	12,2	15,4	0,2
Température de l'air °C	Témoin	13,2	20,9	13,1	11,5	15,6	
	HPS	13,6	22,1	13,8	11,9	16,4	0,8
	DEL	13,5	21,5	13,5	12,0	16,1	0,4
Humidité relative %	Témoin	88,1	70,3	90,5	91,1	83,3	
	HPS ^C	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	DEL	89,1	65,5	91,1	91,7	82,1	-1,2
CO ₂ ppm	n.d.	550	506	517	518	516	n.d.

^A Données pour 25 jours pleins. La concentration de CO₂ et la température extérieure sont les mêmes pour chaque parcelle.

^B Les limites de chaque période sont dans l'ordre : le lever du jour, l'allumage des lampes, le coucher du soleil et la fermeture des lampes.

^C Capteur défectueux, données non valables.

3.2.2. Serres Ovation

3.2.2.1. Démarche

Pour dresser le bilan climatique, les données suivantes ont été recueillies et traitées pour chacune des serres des complexes 1 et 2 selon les parcelles, les lots et pour diverses périodes. Les périodes pouvaient être sur une base mensuelle ou journalière dictée entre autre par le lever et le coucher du soleil.

- Température à l'extérieure de la serre
- Consignes de chauffe des serres
- Taux de CO₂ des serres
- Température aérienne des serres
- Humidité relative des serres
- Température du substrat

Température extérieure - Consignes de chauffe des serres - Taux de CO₂ des serres

La prise de ces données s'est effectuée avec le système de contrôle et d'acquisition de données PRIVA de l'entreprise. Les données étaient exportées dans un format compatible avec un chiffrier Excel.

Température aérienne

Il y a deux capteurs températures par parcelle expérimentale et ils sont installés à la même hauteur et distancés de 1,8 m (6 pi). Le premier est 63,5 cm (25 pouces) en dessous du capteur de lumière qui est en dessous de la lampe HPS au milieu du rang central de la parcelle (voir l'Annexe 2). Les capteurs sont à la même position dans chaque parcelle.

Tableau 46 : Serres Ovation - Localisation des capteurs de température aérienne à l'intérieur des parcelles

	HPS	DEL
Distance du capteur au sol	203,2 cm (80 po)	203,2 cm (80 po)
Distance du capteur au luminaire	127 cm (50 po)	101,6 cm (40 po)

Les capteurs sont protégés contre le rayonnement direct du soleil ou des lampes.

Humidité relative

Le capteur d'humidité relative est associé au capteur de température placée sous le capteur de lumière (voir la Photo 7 et la Photo 8).

**Photo 7 : Serres Ovation - Complexe 1, le 13 mars 2013, parcelle DEL
Système d'acquisition de données d'Onset Computer**



Note : Coffret avec enregistreur des données provenant des deux capteurs de température, du capteur d'humidité et du capteur de lumière.

**Photo 8 : Serres Ovation - Complexe 1, le 13 mars 2013, parcelle DEL
Différents capteurs utilisés dans la prise de données**



Note : Un capteur de température et d'humidité, un capteur de température, capteur de lumière toute de la compagnie d'Onset Computer.
Photo de *LED Innovation Design*.

Lumière

Un capteur de lumière dans le PAR a été installé dans chaque parcelle à 86,4 cm (34 pouces) sous l'entrait (voir l'Annexe 2) et au centre du rang entre les deux broches de support (distancées de 58,4 cm ou 23 pouces) pour le tuteurage. Les capteurs pourront entre autres permettre la vérification du fonctionnement de l'éclairage artificiel et confirmer les heures de départ et d'arrêt de l'EA afin d'effectuer correctement la sommation en moles dans le PAR de l'apport de l'éclairage artificiel.

La sommation de la lumière naturelle a été établie en déduisant les apports de l'éclairage artificiel et en corrigeant leur lecture en fonction de la celle obtenue par le capteur sphérique Licor et ramener en $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ dans le PAR.

Un mesurage de l'intensité lumineuse pour l'éclairage artificiel a été fait au début et à la fin de la période d'éclairage. Le schéma de l'Annexe 3 montre 5 points de mesure sur le plan vertical. Le premier mesurage a été fait avec les points a, b, c et d; Le deuxième mesurage a été fait avec les points b, d et e. Sur le plan longitudinal, il y a 7 points de mesure sur une distance de 36

pieds. Pour le premier mesurage, cela donne donc (7X4) 28 points mesurés par parcelle éclairée. Un capteur calibré de Li-Cor avec sphère est utilisé pour ce faire.

Pour l'ensemble des capteurs installés dans les parcelles expérimentales, la fréquence d'enregistrement des données est aux de 2 minutes.

Traitement des données

Les données ont été cumulées entre le 15 mars et le 29 juin 2013 pour les deux complexes. Il y a eu de l'éclairage artificiel (EA) du 15 mars au 26 mai inclusivement. Du 27 mai au 29 juin, les systèmes d'éclairage n'ont pas été mis en fonction, mais les données ont été traitées. Ceci faisait partie du protocole.

Les données ont été traitées et classées en fonction de trois périodes : 15 mars au 29 juin (période globale), 15 mars au 26 mai (période avec EA), 27 mai au 29 juin (période sans EA) : Pour chacune de ces trois périodes, les données ont été traitées en quatre périodes journalières distinctes et sur une base 24 h. Le Tableau 47 définit qualitativement les périodes journalières.

Tableau 47 : Serres Ovation - Définition qualitatif des périodes journalières des prises de données

Période journalière	Définition		
1	Lever du soleil	à	2 heures avant le coucher du soleil
2	2 heures avant le coucher du soleil	au	Coucher du soleil
3	Coucher du soleil	à	Fermeture des lampes
4	Fermeture des lampes	à	Lever du soleil

Comme le lever et le coucher du soleil varient dans le temps, les moyennes des lever et des coucher du soleil ont été prises en compte selon la date et l'heure où la donnée a été enregistrée pour traiter les données. Le lecteur trouvera la définition quantitatif des périodes journalières des prises de données à l'Annexe 26.

3.2.2.2. Résultats, analyses et discussions

Les tableaux suivants présentent les données traitées de l'intérieur de la serre (température aérienne, humidité relative, intensité lumineuse, intensité lumineuse cumulée) pour les dates suivantes et pour les complexes 1 et 2 :

- 15 mars au 29 juin (période globale)
- 15 mars au 26 mai (période avec EA)
- 27 mai su 29 juin (période sans EA)

Tableau 48 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 15 mars au 29 juin 2013 (période globale)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	25,0	20,2	15,5	15,7	20,7	24,8	21,4	17,1	16,3	21,1	24,6	20,8	16,4	16,2	20,9
Humidité relative	%	66,9	76,1	85,8	90,4	76,3	69,2	75,9	82,2	90,2	76,8	78,1	82,8	88,9	93,9	84,0
Lumière lue par le capteur	W/m ²	404,0	74,5	1,2	1,2	193,9	470,6	249,1	190,9	1,8	286,3	427,7	158,0	92,0	1,5	240,3
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	14731,9	8939,4	146,4	147,2	15311,3	16319,7	29892,8	22907,3	211,8	20508,0	17364,7	18960,9	11035,9	179,8	19956,4

Tableau 49 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 15 mars au 26 mai 2013 (période avec EA)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	25,1	19,8	14,9	15,1	20,3	25,4	21,8	17,2	15,9	21,2	25,0	20,9	16,2	15,8	20,7
Humidité relative	%	67,4	77,4	86,4	90,6	77,4	69,5	75,8	80,6	90,0	77,1	78,7	84,0	89,3	94,1	84,9
Lumière lue par le capteur	W/m ²	431,0	82,3	1,2	1,2	200,9	536,1	355,1	292,9	2,1	340,7	464,5	205,7	134,1	1,6	263,1
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	15515,0	9872,3	146,3	148,0	16150,3	17352,6	42608,9	35148,9	248,1	23277,1	18505,9	24680,4	16091,9	195,9	22093,2

Tableau 50 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données du 27 mai au 29 juin 2013 (période sans EA)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	24,8	21,1	16,8	17,1	21,7	23,6	20,6	16,7	17,2	21,0	23,9	20,7	16,8	17,1	21,2
Humidité relative	%	65,9	73,5	84,5	90,1	74,1	68,5	76,0	85,6	90,6	76,1	76,9	80,0	88,1	93,3	82,1
Lumière lue par le capteur	W/m ²	345,9	57,8	1,2	1,2	178,8	351,1	55,9	1,9	1,2	187,1	348,9	55,7	1,5	1,2	191,4
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	13050,4	6936,5	146,5	145,7	13510,0	14102,0	6704,7	224,3	145,6	14562,5	14914,4	6680,7	180,3	145,4	15368,6

Tableau 51 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 15 mars au 29 juin 2013 (période globale)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	23,1	20,3	16,3	16,4	20,1	23,0	20,6	17,0	16,6	20,3	24,3	18,6	15,8	16,2	20,4
Humidité relative	%	73,2	77,2	84,8	89,8	79,3	74,6	78,6	86,0	92,2	80,9	74,6	83,9	89,6	92,9	82,3
Lumière lue par le capteur	W/m ²	385,8	68,5	1,2	1,2	185,1	415,4	218,5	169,2	1,6	258,0	471,1	201,2	143,1	16,7	273,2
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	14057,7	8217,4	146,4	146,3	14589,7	17459,5	26225,7	20298,6	187,7	21859,3	18205,1	24141,9	17175,1	1999,3	22205,8

Tableau 52 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 15 mars au 26 mai 2013 (période avec EA)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	23,1	20,1	16,0	16,2	19,8	22,8	20,4	16,9	16,1	19,9	24,3	17,4	15,2	15,4	19,9
Humidité relative	%	73,4	78,1	84,5	88,8	79,6	76,1	80,0	86,1	92,9	82,4	75,2	86,6	90,8	94,4	83,8
Lumière lue par le capteur	W/m ²	398,6	72,7	1,2	1,2	184,2	461,8	311,9	259,8	1,8	298,3	530,6	271,2	209,2	23,9	313,4
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	14183,1	8718,4	146,2	146,3	14742,9	18744,0	37433,4	31174,8	210,5	25000,3	19922,9	32545,2	25106,0	2862,5	25596,9

Tableau 53 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données du 27 mai au 29 juin 2013 (période sans EA)

Mesure		Témoïn					HPS					DEL				
		1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h	1	2	3	4	24 h
Température	°C	23,3	20,6	16,9	16,8	20,8	23,4	20,8	17,1	17,5	21,1	24,5	21,1	17,0	17,9	21,4
Humidité relative	%	72,6	75,3	85,2	91,9	78,6	71,5	75,5	85,8	90,6	77,7	73,4	78,1	86,9	89,8	79,0
Lumière lue par le capteur	W/m ²	358,3	59,5	1,2	1,2	187,0	330,8	48,2	1,2	1,2	184,6	343,6	50,8	1,2	1,2	187,0
Accumulation de lumière lue par le capteur	kJ/m ²	13788,4	7141,8	146,8	146,3	14260,8	14701,6	5788,0	145,7	146,1	15115,2	14516,9	6099,5	147,0	146,0	14924,8

Les résultats des tableaux précédents et sur base quotidienne (24 h) démontrent qu'« avec » ou « sans » EA, les conditions climatiques sont similaires d'une parcelle à l'autre pour chacune des périodes (température et humidité relative). Ainsi, on peut affirmer qu'il n'y a pas eu de parcelles où les plants de tomates étaient plus avantageés que d'autres au niveau du climat

De plus, les capteurs de lumière démontrent que la luminosité des parcelles est similaire lorsque l'EA n'est pas en fonction, comme il a été évalué au « Tableau 26 : Serres Ovation - Évaluation du taux de transmission de la lumière extérieure dans le PAR, le 4 juin 2013 » à la page 63. Lorsque l'EA artificiel était en fonction, les parcelles HPS et DEL recevaient des quantités de lumière similaires par rapport au témoin.

3.3. Évaluer les performances agronomiques engendrées par l'utilisation des lampes DEL versus celles HPS

3.3.1. Les Serres Lefort

3.3.1.1. Démarche

Type de production

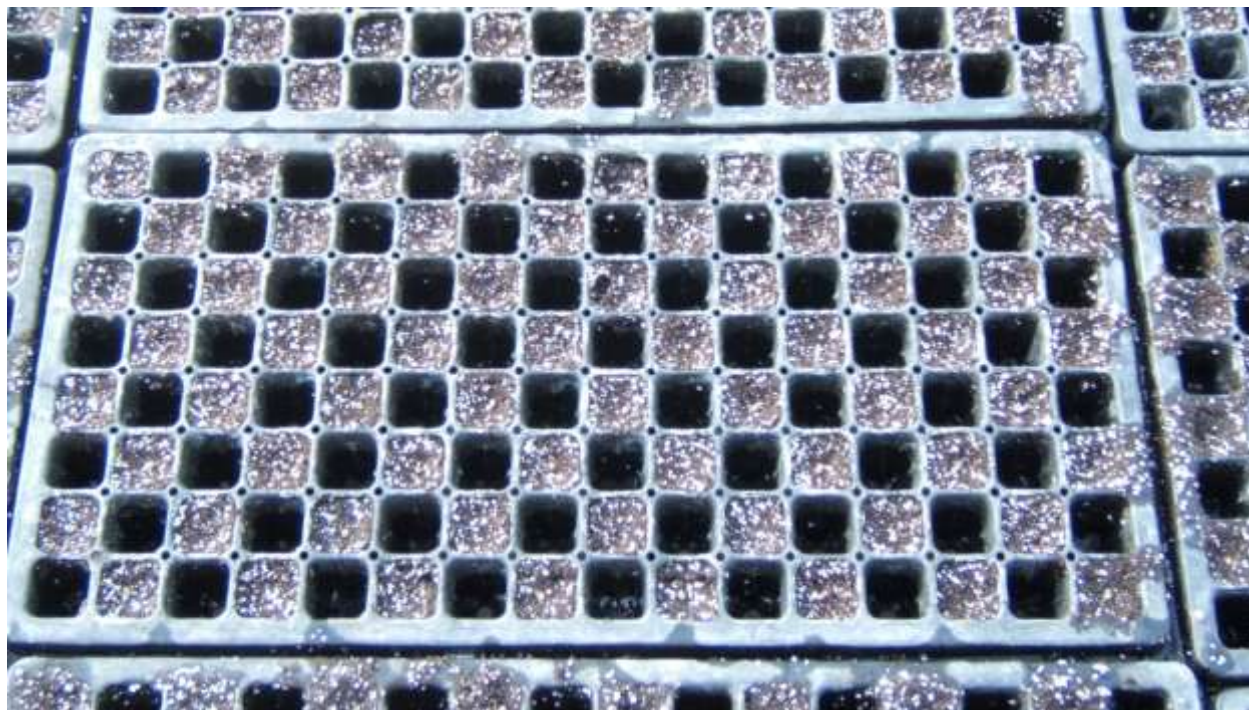
Les serres 33 à 38 sont utilisées pour produire de la salade. La variété produite et analysée lors du projet est la Flandria (Enza Zaden). Les plantules de salade arrivaient dans la serre en provenance de la chambre de semis. Elles étaient au stade de la première feuille dans des plateaux.

Dimensions et disposition des plateaux

Les caractéristiques et les dimensions des plateaux sont les suivantes (voir la Photo 9):

- Dimension : 26,7 cm par 53,3 cm (10,5" x 21,0")
- Nombre d'alvéoles : 128 (8 x 16)
- Nombre de plantules : 64

Photo 9 : Les Serres Lefort - Plateau utilisé



Chaque parcelle avait 210 plateaux plus deux témoins tel que présenté à l'Annexe 8. Le début et la fin des parcelles ont été identifiés par des bâtonnets rouges (voir la Photo 10).

Photo 10 : Les Serres Lefort - Vue d'ensemble des parcelles



Lors du projet, les luminaires HPS des serres 35 et 38 n'ont pas été en fonction, ni ceux au-dessus des parcelles « Témoin » et des zones au « sud » ou encore au « nord » des parcelles HPS et DEL des serres 36 et 37.

Déroulement de la prise de données

Le bilan agronomique a été effectué à partir de la pesée de la partie aérienne de plantules de laitue de la variété Flandria (Enza Zaden). La masse humide et la masse sèche des récoltes ont été enregistrées pour chacune des parcelles expérimentales et pour chacun des deux lots de production.

Une pesée était composée de 32 plantules provenant d'un plateau de 0,1423 m² comprenant 64 plantules (Photo 11) ce qui donne une densité de culture de 225 plantules par mètre carré. Ce sont les 8 premiers (8 de 16) rangs du plateau (sens longitudinal du plateau) qui étaient récoltés et si, une plantule était défectueuse pour des raisons de maladie ou de défaut de plantation, c'est la 33^{ème} plantule qui la remplaçait afin de garder 32 plantules valables pour la pesée. Chaque parcelle expérimentale a eu 14 pesées provenant de 14 plateaux répartis au hasard tel qu'il est décrit dans la section 3.1.1.1.

La récolte fut effectuée à peu près au même stage de développement comme on peut le constater par le poids moyen de la masse humide pour chacun des lots. Cela correspond à environ 30 jours après le semis pour le premier lot et de 28 à 25 jours après le semis pour le deuxième lot.

Toutes les parcelles expérimentales des différents traitements ont été montées avec des plateaux provenant de la zone éclairée par des luminaires HPS (de 3 à 6 jours dans la zone HPS pour la levée du semis, voir le Tableau 54 et l'Annexe 8). Les plateaux ont été répartis de façon aléatoire de chaque côté de la parcelle expérimentale. Le montage des parcelles s'est effectué de 4 à 5 jours après le semis.

Le traitement d'éclairage fut considéré comme débutant 6 jours après le semis pour le lot 1 et 5 jours après le semis pour le lot 2. Ce moment correspondait à l'émergence de la première vraie feuille (Photo 12). Le nombre de jours entre le début du traitement et le semis a donc été normalisé le mieux possible afin d'établir les calculs de gain sur une base uniforme par rapport au développement du semis. Le nombre de jours attribués au traitement d'éclairage sert de diviseur pour calculer les gains de masse et la quantité de la lumière reçue par jour.

Photo 11 : Moitié restante d'un plateau récolté



Photo 12 : Première vraie feuille prête à émerger



Calendrier de culture

Le Tableau 54 présente comment le nombre de jours attribués au traitement d'éclairage qui fut compté. Le lecteur trouvera à l'Annexe 16 la représentation tabloïde des lots dans le temps.

Tableau 54 : Les Serres Lefort - Calendrier des opérations pour chaque lot

Description	Lot 1		Lot 2	
	Serre 36	Serre 37	Serre 36	Serre 37
Date du semis ¹	09-février	15-février	11-mars	21-mars
Date de mise en place des parcelles	15-février	20-février	19-mars	25-mars
Date du début du traitement d'éclairage	16-février	21-février	18-mars	27-mars
Date de la récolte	12-mars	18-mars	09-avril	16-avril
# de jours du semis à la récolte	30,2	30,2	28,2	25,1
# de jours entre le semis et le début du traitement d'éclairage	6	5	6	5
# de jours attribués ² au traitement d'éclairage	24,2	25,2	22,2	20,1

¹ La date du semis compte pour 0 jour pour tous les lots.

² La date de la récolte compte pour 0,2 jour de traitement d'éclairage, sauf pour le lot 2 de la serre 37, où, la valeur est 0,1 jour.

Conduite climatique

La conduite climatique est celle décrite dans la section du bilan climatique (voir la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** à la page **Erreur ! Signet non défini.**).

3.3.1.2. Résultats, analyses et discussions

Cette section présente les résultats globaux par lot et par serre. Le Tableau 55 et le Tableau 56 donnent le poids moyen de chaque demi-plateau composé de 32 plantules sur une base humide et en matière sèche selon le traitement et la serre. De ces résultats, le % de matière sèche et le gain poids journalier sont calculés. Dans la section de la performance relative du Tableau 55 et du Tableau 56, les résultats des parcelles éclairées sont comparés aux résultats de la parcelle témoin; les résultats de la parcelle témoin ayant une valeur de 1,00.

Le Tableau 57 et le Tableau 58 transforment les résultats du Tableau 55 et du Tableau 56 en termes de masse par mètre carré.

3.3.1.2.1. Analyse de résultats du lot 1, 15 février au 18 mars

Matière sèche (%)

Dans le lot 1, il y a eu une différence marquée dans le contenu de matière sèche entre les parcelles éclairées et la parcelle témoin. Les plants des parcelles éclairées avaient en moyenne un contenu en matière sèche de 33 % supérieur comparé aux plants de la parcelle témoin (HPS 10,1 % de M.S., DEL 9,3 % de M.S. et témoin 7,2 % de M.S.). Ceci a eu comme effet que le gain de poids humide par rapport au témoin fut très différent du gain poids sur la base de matière sèche. La cause de cet état a été que les parcelles sous éclairage artificiel s'asséchaient plus rapidement que celle sans l'EA, l'irrigation ayant été faite, pour ce lot, en fonction de la parcelle témoin et non de la parcelle HPS ou selon le besoin en eau. Dans le bilan climatique, on rapporte des différences de températures entre les parcelles éclairées et la parcelle témoin. La température plus élevée et une plus grande quantité de lumière ont automatiquement causé plus d'évapotranspiration dans les parcelles éclairées.

Gain quotidien de poids humide

Pour le lot 1, la moyenne de gain de poids humide pour la serre 36 et 37 a été d'environ 15 % supérieure dans les parcelles éclairées comparée à la moyenne du gain de poids humide dans les deux parcelles témoins; il n'y a pas eu de véritable différence entre les parcelles HPS et les parcelles DEL.

Gain quotidien de poids en matière sèche

Le gain poids sur la base de matière sèche a été significativement plus important dans les parcelles avec éclairage artificiel que dans les parcelles témoins. En moyenne 61 % en plus pour le HPS et 48 % en plus pour le DEL. Il est important de se rappeler que le bilan lumineux fait état d'un apport lumineux supplémentaire par rapport à la parcelle témoin de 28 % pour le HPS et de 25 % pour le DEL. Les gains en matière sèche pour ce lot sont donc 2 fois plus importants que l'ajout de lumière par l'EA. Cet avantage devrait par la suite se traduire par des gains plus importants au niveau de la finition dans les bassins de culture.

Les différences de température (voir bilan climatique) ont sans doute amplifié l'effet de l'addition de lumière (effet des degrés-jours), la laitue étant sensible à la température et plus particulièrement pour ce niveau de température et pour ce stade de croissance (plantule).

Uniformité des résultats, valeur statistique et contexte climatique

Pour le poids humide et le poids en matière sèche, le coefficient de variation a été inférieur dans les parcelles avec EA avec une moyenne de 7,7 % (moyenne des 4 données pour chacun) comparée à une moyenne de 11,2 % pour les parcelles témoin des serres 36 et 37. Les plateaux étaient donc plus uniformes dans les parcelles avec EA. Sans faire de tests statistiques formels, la valeur des coefficients de variation et la valeur moyenne des résultats nous indiquent également que les gains faits par l'EA sont significativement différents tandis que pour la différence entre le HPS et le DEL cela l'est beaucoup moins étant donné que l'écart type et la différence entre les moyennes HPS et DEL sont du même ordre de grandeur et que cette différence a fluctué selon la serre. La valeur moyenne légèrement supérieure des gains de poids dans le HPS vs le DEL pourrait être attribuable à un écart favorable de 0,5 °C pour le HPS (voir bilan climatique).

3.3.1.2.2. Analyse de résultats du lot 2, 18 mars au 16 avril

Matière sèche (%)

Dans le lot 2, contrairement au lot 1, il y a moins eu de variations dans le contenu de matière sèche des parcelles; l'irrigation y a été faite davantage selon le besoin en eau des parcelles HPS. Cependant, la parcelle témoin de la serre 37 a eu un contenu en matière sèche de 6%, ce qui est relativement bas (trop d'eau dans l'irrigation?). Les deux raisons pour cela ont été que durant la dernière semaine de culture, la serre 37 a reçu une moyenne journalière de 12,7 moles de lumière comparée à 19,8 moles pour la serre 36 (voir le Graphique 2 et le Graphique 4) et que la durée de culture pour la serre 37 était de 2 jours en moins que pour la serre 36 (Tableau 54). Cela a eu également un effet sur le gain poids moyen en matière sèche de la parcelle témoin de la serre 37 (Tableau 56). Pour ce lot, c'est la parcelle avec DEL qui a eu en moyenne un contenu en matière sèche plus élevé tandis que dans le lot 1 ce fut la parcelle avec éclairage HPS.

Gain quotidien de poids humide

Pour le lot 2, la moyenne de gain de poids humide pour la serre 36 et 37 fut environ 30 % supérieure dans les parcelles éclairées comparées au gain de poids de la parcelle témoin. Dans ce lot, le gain de poids moyen humide par jour fut cependant de 15 % plus élevé dans la parcelle avec HPS que dans la parcelle avec DEL. Il faut se rappeler, que dans ce lot, les parcelles avec EA n'ont totalisé que 15 % de plus de lumière que les parcelles témoins (voir bilan lumière). Pour ce lot, l'amélioration du gain en poids humide est environ de la même magnitude que l'amélioration gain poids en matière sèche contrairement au lot 1.

Gain quotidien de poids en matière sèche

Dans le lot 2, le gain poids sur la base de matière sèche a aussi été significativement plus important dans les parcelles avec éclairage artificiel que dans les parcelles témoins. En moyenne 44 % en plus pour le HPS et 33 % en plus pour le DEL. Le bilan lumineux fait état d'un total de lumière reçue par rapport au témoin supérieur de 17 % pour le HPS et supérieur de 15 % pour le DEL. Il est à souligner que pour la serre 37, l'amélioration des gains en matière sèche fut au deuxième lot presque identique qu'à la moyenne du premier lot même si la moyenne de lumière reçue par jour dans la serre 37 fut de 16,9 moles par jour de radiation naturelle contre une moyenne pour les deux serres de 10,4 moles par jour lors du premier lot. Ceci est sans doute dû à une meilleure irrigation ainsi qu'à des températures plus élevées 16,0 °C (lot 2, serre 37) vs 14,3 °C (lot 1, serre 36 & 37).

Même en finissant plus léger à cause d'une période de culture plus courte, le gain quotidien en matière sèche a été pour le lot 2 identique au lot 1 dans les parcelles éclairées. À titre de point de repère le témoin a fait un gain quotidien de 0,20 g vs 0,17 g au premier soit plus 18 % alors que la lumière avait augmenté de 68 %.... La période de culture écourtée de 3,5 jours a donc eu un impact significatif sur la moyenne du gain journalier, ce dernier, variant de façon exponentielle à ce stage. Pour les parcelles avec éclairage artificiel, le lot 1 a été récolté plus lourd sur une base de matière sèche et sur une base de poids humide.

Uniformité des résultats, valeur statistique et contexte climatique

Pour le poids humide et le poids en matière sèche (moyenne des 4 données pour chacun), le coefficient de variation a été semblable dans les parcelles avec EA à celui des parcelles témoins, en moyenne 7,0 % pour l'EA comparé à une moyenne de 7,7 % pour les parcelles témoin des serres 36 et 37.

Sans faire de tests statistiques formels, la valeur des coefficients de variation et la valeur moyenne des résultats nous indiquent également que les gains faits par l'EA sont significativement différents tandis que pour la différence entre le HPS et le DEL, cela l'est beaucoup moins étant donné que l'écart type et la différence entre les moyennes HPS et DEL sont du même ordre de grandeur. Cependant, les différences, entre les serres et pour le poids humide et la masse sèche, ont été très semblables et nous indiquent une uniformité dans l'effet des traitements. Bien que la différence entre les résultats du HPS et du DEL soit du même ordre que l'écart type, lorsque l'effet se répète de façon uniforme, cela indique une possibilité de différence significative.

La différence de radiation totale entre le HPS et le DEL étant de 1,5 %, si la différence dans les résultats entre le DEL et le HPS était significative, il y aurait de fortes chances que cela soit dû davantage aux écarts entre les températures du substrat, de l'air et du feuillage plutôt qu'aux écarts dans le flux lumineux.

Morphologie des plantules

Nous n'avons pas fait de mesurage pour caractériser les différences morphologiques qui pourraient survenir selon le traitement. Avec les photos ci-dessous, voici certaines de nos observations.

- Dans trois des quatre lots, les plantules à la récolte nous sont apparus plus turgescents et compactes.
- Les feuilles cotylédons étaient en général plus développés avec l'éclairage DEL (Photo 15 et Photo 18 : Photos de plantules pour les différents lots de chez Les Serres Lefort).
- Dans le 2ème lot de la serre 37, récolte du 16 avril, le développement racinaire de plusieurs plateaux nous a semblé plus important que pour la parcelle HPS et Témoin (Photo 18 : Photos de plantules pour les différents lots de chez Les Serres Lefort).

**Photo 13 : Les Serres Lefort - Le 27 février 2013, Serre 36, lot 1.
Semis du 9 février 2013 =18 jours**



Notes : Plateau TE1. Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le HPS, DEL et témoin sans éclairage à partir du 16 février (11 jours).

**Photo 14 : Les Serres Lefort - le 5 mars 2013, Serre 37, lot 1.
Semis du 15 février 2013 = 20 jours**



Notes : Plateau TE2. Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le DEL, HPS et témoin sans éclairage à partir du 21 février (12 jours).

**Photo 15 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2.
Semis du 11 mars 2013 = 28,2 jours**



Notes : Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le HPS, DEL et témoin sans éclairage à partir du 18 mars (22,2jours). Remarque : Le plant DEL est plus compact et turgescent, les 2 feuilles cotylédons plus développées.

**Photo 16 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2.
Semis du 11 mars 2013 = 28,2 jours**



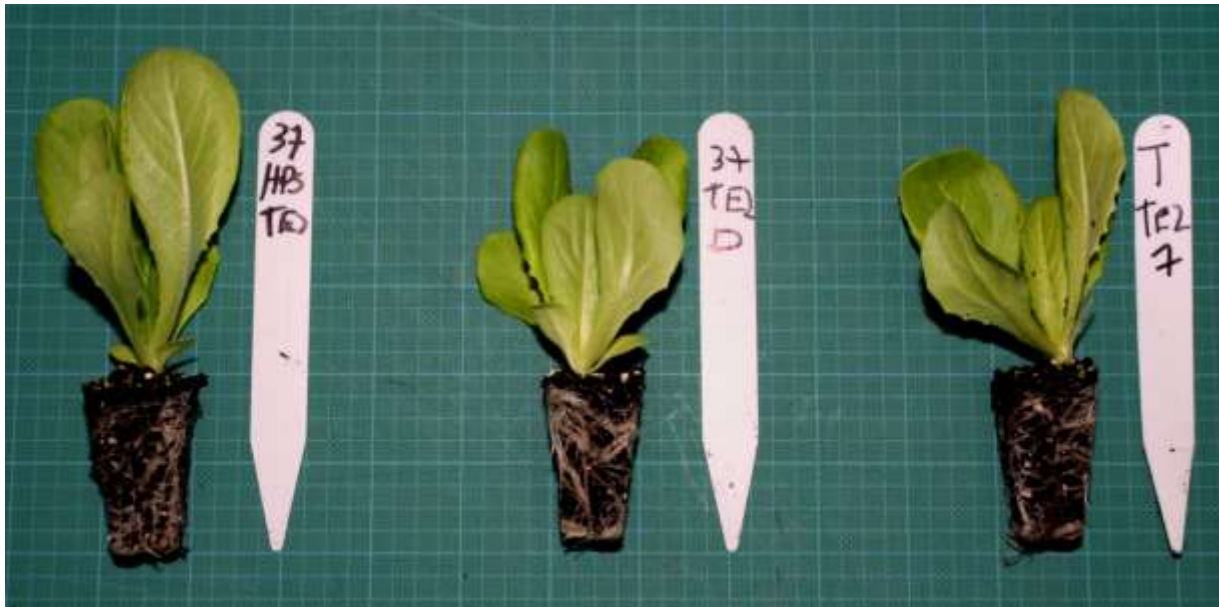
Notes : Plateau TE2. Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le HPS, DEL et témoin sans éclairage à partir du 18 mars (22,2jours).

**Photo 17 : Les Serres Lefort - Le 9 avril 2013, Serre 36, lot 2.
Semis du 11 mars 2013 = 28,2 jours**



Notes : Plateau TE2. Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le HPS, DEL et témoin sans éclairage à partir du 18 mars (22,2jours).

**Photo 18 : Les Serres Lefort - Le 16 avril 2013, Serre 37, lot 2.
Semis du 21 mars 2013 = 25,1 jours**



Notes : Dans l'ordre de gauche à droite : parcelle le HPS, DEL et témoin sans éclairage à partir du 27 mars (20,1jours). Remarque : Le plant DEL est plus compact, les 2 feuilles cotylédons plus développées et le développement racinaire est plus important.

**Tableau 55 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques du lot 1: poids & gain quotidiens moyens
(14 demi-plateaux, 32 plantules)**

	Serre 36			Serre 37			Moyenne			
Date de la récolte	12-mars			18-mars			15-mars			
# de jours attribués au traitement éclairage	24,2			25,2			24,7			
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	
Poids humide										
Moyenne	g	70,9	65,0	61,3	64,7	70,9	56,2	67,8	67,9	58,7
Écart type	g	6,4	4,1	5,0	4,6	5,8	6,9	5,5	4,9	5,9
Coefficient de variation	%	9,1	6,3	8,2	7,1	8,2	12,2	8,2	7,3	10,1
Matière sèche										
Moyenne	g	6,7	6,5	4,6	7,0	6,1	3,9	6,9	6,3	4,3
Écart type	g	0,5	0,4	0,3	0,5	0,6	0,5	0,5	0,5	0,4
Coefficient de variation	%	7,4	6,0	6,1	7,4	10,0	13,0	7,4	7,9	9,3
Matière sèche en %										
		9,5	10,0	7,5	10,8	8,6	6,9	10,1	9,3	7,2
Gain de poids par jour										
En poids humide	g/j	2,93	2,68	2,53	2,57	2,81	2,23	2,74	2,75	2,38
En matière sèche	g/j	0,28	0,27	0,19	0,28	0,24	0,15	0,28	0,26	0,17
Performance relative vs témoin										
Gain de poids humide par jour		1,16	1,06	1,00	1,15	1,26	1,00	1,15	1,16	1,00
Gain de poids M.S. par jour		1,46	1,41	1,00	1,79	1,56	1,00	1,61	1,48	1,00

**Tableau 56 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques du lot 2 : Poids & gain quotidiens moyens
(14 demi-plateaux, 32 plantules)**

	Serre 36			Serre 37			Moyenne		
Date de la récolte	09-avril			16-avril			12-avril		
# de jours attribués au traitement éclairage	22,2			20,1			21,15		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Poids humide									
Moyenne g	84,1	73,7	54,3	74,6	63,3	58,9	79,4	68,5	56,6
Écart type g	3,5	4,9	4,5	7,8	4,5	4,4	5,6	4,7	4,5
Coefficient de variation %	4,2	6,7	8,4	10,4	7,1	7,5	7,1	6,9	7,9
Matière sèche									
Moyenne g	6,2	5,8	4,7	5,7	5,3	3,5	5,9	5,5	4,1
Écart type g	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
Coefficient de variation %	8,0	8,0	5,7	5,7	6,1	11,3	6,9	7,1	8,1
Matière sèche en %	7,3	7,8	8,7	7,6	8,3	6,0	7,5	8,1	7,3
Gain de poids par jour									
En poids humide g/j	3,79	3,32	2,45	3,71	3,15	2,93	3,75	3,24	2,68
En matière sèche g/j	0,28	0,26	0,21	0,28	0,26	0,18	0,28	0,26	0,20
Performance relative vs témoin									
Gain de poids humide par jour	1,55	1,36	1,00	1,27	1,07	1,00	1,40	1,21	1,00
Gain de poids M.S. par jour	1,30	1,22	1,00	1,61	1,49	1,00	1,44	1,33	1,00

Tableau 57 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques lot 1 : poids & gain quotidien (g / m²)

	Serre 36			Serre 37			Moyenne		
Date de la récolte	12-mars			18-mars			15-mars		
# de jours attribués au traitement éclairage	24,2			25,2			24,7		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Poids									
Masse humide moyenne g/m ²	997	913	861	909	996	791	953	955	826
Matière sèche moyenne g/m ²	94	92	65	98	86	55	96	89	60
Gain de poids par jour									
En masse humide g/m/j	41,2	37,7	35,6	36,1	39,5	31,4	38,6	38,7	33,4
En matière sèche g/m/j	3,9	3,8	2,7	3,9	3,4	2,2	3,9	3,6	2,4

Tableau 58 : Les Serres Lefort - Résultats agronomiques lot 2 : poids & gain quotidien (g/m²)

	Serre 36			Serre 37			Moyenne		
Date de la récolte	09-avril			16-avril			12-avril		
# de jours attribués au traitement éclairage	22,2			20,1			21,15		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Poids									
Masse humide moyenne g / m ²	1 183	1 037	763	1 049	890	828	1 116	963	796
Matière sèche moyenne g / m ²	87	81	67	80	74	50	83	78	58
Gain de poids par jour									
En masse humide g / m ² / j	53,3	46,7	34,4	52,2	44,3	41,2	52,8	45,5	37,6
En matière sèche g / m ² / j	3,9	3,6	3,0	4,0	3,7	2,5	3,9	3,7	2,7

3.3.1.2.3. Utilisation de la lumière selon les traitements et les lots

Les résultats rapportés dans les pages précédentes peuvent nous inciter à poser la question :

« Jusqu'à quel point, les plantules de laitue ont-elles utilisé plus efficacement la lumière provenant de l'éclairage artificiel comparée à celle provenant uniquement des radiations naturelles transmises dans la serre? »

Pour tenter de répondre à cette question, nous pouvons diviser le gain de poids quotidien par le flux lumineux quotidien, ces deux éléments étant pris sur la base d'un (1,0) mètre carré. Ce sont donc les données du Tableau 57 et du Tableau 58 pour ce qui est des gains de poids quotidien en g/m²/j et les données du Tableau 13 et du Tableau 14 provenant de la section 3.1.1.2.

Les résultats de cette opération sont dans le Tableau 59 et le Tableau 60 et ils expriment l'efficacité de l'utilisation de la lumière en termes de g/m² et pour chacun des deux lots de production et chacune des deux serres.

Dans le lot 1, nous constatons que pour le gain de poids humide l'efficacité pour l'utilisation de la lumière a été 10 % inférieure dans la parcelle HPS vs la parcelle témoin à cause des problèmes liés au niveau de l'irrigation tels qu'expliqués dans l'analyse des résultats du lot des pages précédentes. Cependant pour ce qui est du gain de poids en matière sèche, l'efficacité d'utilisation de la lumière semble avoir été peu affectée par ce manque d'irrigation.

Dans la section Performance relative vs témoin du Tableau 59 et du Tableau 60, nous avons presque une relation parfaite la performance relative entre les parcelles restant pratiquement la même dans chacun des deux lots et pour chacune des deux serres.

En termes absolus, il est normal que les résultats du lot 2 soient moindres parce la période de culture a été plus courte et qu'ainsi la culture n'a pu avoir la même utilisation optimale de la lumière s'effectuant lors des derniers jours du cycle de production des plantules de laitues (Superficie optimale de feuilles par m² pour capter la lumière).

Ces tableaux nous indiquent que la prise de données pour les différents bilans a été bien faite et que l'échantillonnage était correct et suffisant. Cependant si on tient compte des différences de température entre la parcelle témoin et HPS et qu'on lui attribue un effet de 7 % sur l'efficacité d'utilisation de la lumière, cela atténuerait l'effet de l'ajout de lumière artificielle mais il resterait quand même une importante différence d'efficacité dans l'utilisation de la lumière en faveur de l'éclairage artificiel.

Le taux de transmission de lumière pour la période du 16 février au 16 avril aurait pu être inférieur à 57 % tel qu'utilisé dans le bilan lumineux, ceci affecterait certainement le niveau d'efficacité d'utilisation de la lumière des parcelles témoins, mais, comme cela s'appliquerait également dans chaque parcelle, l'effet sur les rapports entre parcelles éclairées et non éclairées n'en serait que léger.

On remarque également que les gains d'efficacité dans l'utilisation de la lumière sont plus importants dans la serre 37 que dans la serre 36. Ceci peut sans doute avoir un lien avec l'ombrage créé par la structure de la paroi déroulante séparant les serres 35 et 36. (voir la Photo 19).

Théoriquement, le profil d'émission des luminaires devrait permettre une utilisation plus efficace de la lumière si on fait abstraction des gains de chaleurs causés par les luminaires. Cela s'applique tout particulièrement pour les luminaires DEL. Nous sommes dans une situation où plusieurs éléments sont sans doute entrés en jeu simultanément et leurs effets combinés sont difficiles à départager.

Mais laissons tous les calculs faits précédemment sans ajustement et allons au Tableau 61. Les deux colonnes affichant le gramme de matière sèche/mole en se basant sur les résultats différentiels de l'EA par rapport au témoin nous indiquent que les plantules de laitue ont utilisé la lumière provenant de l'éclairage artificiel avec deux fois plus d'efficacité que la lumière naturelle. Les gains en matière sèche sont donc 2 fois plus importants que l'ajout de lumière obtenu par l'EA. Pour annuler ce résultat en faveur de l'éclairage artificiel, il faudrait accorder un trop gros effet à la température supérieure des parcelles éclairées ou à d'autres facteurs.

Cependant, la différence dans les résultats différentiels en faveur du HPS par rapport au DEL ne l'est probablement qu'à cause de la température légèrement supérieure des parcelles HPS. Également, il faut tenir compte d'un certain niveau de variation dans les résultats (coefficient de variation) et ne pas prendre les légères différences comme étant représentatives, car, nous ne pouvons faire une validation statistique solide étant donné les limites du montage expérimental.

Nous rappelons à ce point-ci que l'évaluation économique a été faite comme si les plantules de laitue utilisaient la lumière provenant de l'éclairage artificiel avec la même efficacité que la lumière naturelle.

Photo 19 : Les Serres Lefort - Serre 36 - Structure pour la cloison déroulante du côté ouest (par convention ou sud-ouest par rapport au nord géographique)



Tableau 59 : Les Serres Lefort - Utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien de poids, lot 1 (g/mole)

	Serre 36			Serre 37			Moyenne		
Date de la récolte	12-mars			18-mars			15-mars		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Moyenne moles/jour/m²	13,2	12,9	10,3	13,9	13,6	10,8	13,5	13,2	10,6
Gain de poids par jour									
En poids humide g/mole	3,13	2,93	3,45	2,60	2,91	2,89	2,86	2,92	3,16
En matière sèche g/mole	0,30	0,29	0,26	0,28	0,25	0,20	0,29	0,27	0,23
Performance relative vs témoin									
Gain de poids humide par jour	0,90	0,85	1,00	0,90	1,01	1,00	0,90	0,93	1,00
Gain de poids M.S. par jour	1,14	1,13	1,00	1,41	1,25	1,00	1,26	1,19	1,00

Tableau 60 : Les Serres Lefort - Utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien de poids, lot 2 (g/mole)

	Serre 36			Serre 37			Moyenne		
Date de la récolte	09-avril			16-avril			12-avril		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Moyenne moles/jour/m²	21,3	21,0	18,3	20,1	19,8	17,0	20,7	20,4	17,7
Gain de poids par jour									
En poids humide g/mole	2,50	2,22	1,88	2,60	2,24	2,42	2,55	2,23	2,13
En matière sèche g/mole	0,18	0,17	0,16	0,20	0,19	0,15	0,19	0,18	0,16
Performance relative vs témoin									
Gain de poids humide par jour	1,34	1,19	1,00	1,08	0,92	1,00	1,20	1,05	1,00
Gain de poids M.S. par jour	1,12	1,06	1,00	1,37	1,28	1,00	1,23	1,16	1,00

Tableau 61 : Les Serres Lefort - Sommaire par lot et par serre de l'utilisation de la lumière basée sur le gain quotidien en matière sèche et comparaison des ratios d'efficacité du total des gains vs les ratios des gains sur différentiels

		Gramme de matière sèche par mole de lumière dans le PAR ^A				
Localisation et lot	Nombre de jours	Total ^B HPS	Total ^B DEL	Total ^B Témoin	Différentiel ^C HPS	Différentiel ^C DEL
Serre 36, lot 1	24,2	0,30	0,29	0,26	0,43	0,43
Serre 37, lot 1	25,2	0,28	0,25	0,20	0,56	0,44
Serre 36, lot 2	22,2	0,18	0,17	0,16	0,31	0,24
Serre 37, lot 2	20,1	0,20	0,19	0,15	0,49	0,44
Moyenne	22,9	0,24	0,23	0,19	0,45	0,39
Ratio du différentiel : total témoin					2,3	2,0

^A Rayonnement photosynthétiquement actif (400 nm à 700 nm).

^B Ratio des tableaux 6 et 7; total des gains en M.S./m²/jour divisé par le total de moles/m²/jour.

^C Ratio basé sur la différence de gain par jour et par m² entre la parcelle éclairée et la parcelle témoin divisé par la quantité de lumière ajoutée par l'EA en moles/m²/jour.

3.3.2. Serres Ovation

3.3.2.1. Démarche

Bases du bilan agronomique

Le bilan agronomique a été effectué à partir de la pesée et du nombre de tomates récoltées de chacun des 4 demi-rangs constituant chacune des 3 parcelles expérimentales du complexe 1 et du complexe 2. Les tomates de type beefsteak rose provenaient de la variété Makari du semencier Monsanto.

Dispositif expérimental

Les dispositifs expérimentaux se situaient dans le complexe 1 et le complexe 2 comportant chacun 8 chapelles (voir la Photo 2, le Schéma 7 et le Schéma 8).

Les recouvrements de plastique des serres ont été renouvelés :

- Pour le complexe 1, à l'automne 2009. (4 ans);
- Pour le complexe 2, en mai 2012 (1 an).

Chaque chapelle dédiée à la production a 7,62 m (25 pi) de large et 45,72 m (150 pi) de long. Elle est constituée de 5 allées pour effectuer les opérations culturales et de 4 rangs doubles de plants et d'un rang simple sous la gouttière du côté « est » de la gouttière « ouest ».

Le dispositif expérimental se situe dans les chapelles 2, 4 et 6 de chaque complexe. Les chapelles attenantes aux chapelles avec traitement n'ont aucun éclairage artificiel. Chaque traitement d'éclairage est donc complètement isolé et exempt de pollution lumineuse des autres traitements.

**Tableau 62 : Serres Ovation
Ordre d'occurrence des traitements (établi de façon aléatoire)**

	Complexe 1	Complexe 2
Chapelle #2	Lampes DEL	Lampes DEL
Chapelle #4	Lampes HPS	Témoin sans éclairage
Chapelle #6	Témoin sans éclairage	Lampes HPS

Toutes les parcelles expérimentales débutent à environ 9,1 m (30 pi) de l'allée du bout de la serre et les plants récoltés et mesurés se situent dans les allées 2 et 3 des chapelles. Pour chacune des parcelles expérimentales, chaque récolte des 4 demi-rangs les composant est enregistrée séparément. (Voir le Schéma 7 et le Schéma 8).

Chaque demi-rang est composé de 5 sacs de substrat réparti également sur 24,5 pieds de long.

1. Dans le complexe 1, sur chaque sac de substrat il y a 4 plants avec 1 tige ce qui donne 20 tiges.
2. Dans le complexe 2, sur chaque sac de substrat il y a 3 plants avec 1 tige; dans la semaine du 12 février, une tige auxiliaire est ajoutée à un des trois plants par sac ce qui permettra d'obtenir 20 tiges récoltées également vers le 22 avril (Tableau 65).

La largeur attribuée à chaque demi-rang étant 0,80 m (2,65 pi) en moyenne, la superficie attribuée aux 20 tiges est de 6,02 m² (64,8 pi²) donnant ainsi une densité de culture de 3,32 tiges par m².

L'aire expérimentale est cependant plus longue parce que les tiges sont abaissées et, en ce faisant elles se déplacent d'autant à l'horizontale. Le début et la fin des 5 sacs de cultures pour les tiges récoltées sont positionnés de façon asymétrique de chaque côté de l'allée puisque les deux côtés de l'allée ne sont pas abaissés dans le même sens.

De plus, il faut assurer un éclairage d'une intensité uniforme durant la période d'éclairage artificiel. Ainsi pour la parcelle DEL, le premier sac est placé à environ 61,0 cm (2 pi) du début de la zone d'éclairage du côté opposé où les tiges sont abaissées. Les dispositifs d'éclairage de photosynthèse sont donc aménagés pour donner un éclairage uniforme sur 11 m ou 36 pi (7,5 m pour les sacs et 3,5 m pour l'abaissement de 14 semaines) dans le sens longitudinal. Cette longueur donne une sécurité suffisante compte tenu du calendrier planifié. Le dispositif d'éclairage a donc 12,2 m (40 pi) de long pour les luminaires DEL (5 barres de 2,4 m ou 8 pi) et 11,0 m (36 pi) pour les luminaires HPS (4 luminaires distancés 3,66 m ou 12 pi entre chacun).

Étant donné que les 4 demi-rangs se situent sur 3 rangs doubles de plants, les luminaires sont placés sur les 3 rangs en leur centre et les 2 broches de supports pour le tuteurage sont placées à 29 cm (distance entre les broches de support de 58 cm) de chaque côté du centre du luminaire favorisant ainsi une meilleure pénétration à l'intérieur au centre du rang (endroit où la lumière naturelle pénètre peu.). Le lecteur est invité à voir le Schéma 7 et le Schéma 8.

Programme d'éclairage

Photopériode : 17 heures

Heure de début de l'éclairage artificiel par rapport au lever du soleil

30 minutes après lever du soleil

Heure de début de l'éclairage artificiel au coucher du soleil

2h00 avant le coucher du soleil si éteint à cause de l'ensoleillement.

Heure de fin de l'éclairage artificiel au coucher du soleil

Lever du soleil + 17h00

Exemple pour une journée peu ensoleillée ou nuageuse :

Lever du soleil 7h00 coucher du soleil 19h00 = 12h00 durée du jour

Début EA = 7h30

Fin EA = 24h00

Durée maximale EA = 16h30

Exemple pour une journée ensoleillée :

Lever du soleil 7h00 coucher du soleil 19h00 = 12h00 durée du jour

Début EA = 7h30

Arrêt vers = 10h00

(ou sur un équivalent d'intensité **50** milliwatts/cm/sec) du lever du jour à 3h00 après le lever du jour

Redémarrage de l'EA = 17h00

(ou sur un équivalent d'intensité **30** milliwatts/cm/sec)

Fin EA = 24h00

Durée EA = 11h30

Collecte des résultats de la culture

a) *Récoltes*

Quatre demi-rangs par parcelle sont récoltés séparément. Il s'agit de chaque côté des allées 2 et 3 dans chaque parcelle (voir le Schéma 7 et le Schéma 8). Le nombre de tomates et leur poids total sont enregistrés. Le classement des tomates a aussi été tenu en compte et était constitué de deux catégories :

- la catégorie « déclassée », constituée de tomates difformes ou de poids inférieur à 80 grammes.
- La catégorie commercialisable.

Ce sont les tiges des 5 sacs de substrat qui sont récoltés. Advenant le bris d'une tige, une autre tige sera ajoutée juste avant la première des 19 tiges récoltées afin de toujours effectuer une récolte sur 20 tiges. La vérification du nombre de tiges récoltées a été effectuée à plusieurs reprises. Le lecteur trouvera à l'annexe 27 un registre des substitutions qui a eu lieu.

b) *Caractéristiques des plants*

Cinq plants témoins sont sélectionnés par parcelle expérimentale afin d'enregistrer les caractéristiques agronomiques des plants relatives à leur vigueur, à leur croissance et à leur productivité. Ils se situent tous dans l'allée no 2 du côté « est » sur le 2e sac (3 plants à 1 tige) et sur le 3e sac (3 plants à 1 tige).

Les items suivants de la feuille Tom Pouce sont utilisés pour établir la variation de charge en début en fin de période expérimentale ou d'étape :

- Diamètre tige
- Nombre de grappes récoltées
- Charge de fruits
- Nombre de grappes avec fruits.

Le Tableau 63 décrit comment le nombre de jours attribués au traitement d'éclairage fut compté et à la période d'évaluation de l'effet de l'EA. La Photo 20 présente un employé récoltant les tomates.

**Tableau 63 : Serres Ovation
Calendrier de culture et des traitements**

Description	Lieu et date 2013	
	Complexe 1	Complexe 2
Semis ^A	n/a	10-nov
Plantation	07-févr	03-janv
Début de l'éclairage de photosynthèse	15-mars	15-mars
Fin de l'éclairage de photosynthèse	26-mai	26-mai
Jours avec éclairage de photosynthèse	73 jours	73 jours
Nombre de jours du bilan lumineux	133 jours	133 jours
Entrée en production (0,1 kg/m ²)	08-avr	28-févr ^B
Nombre de jours d'éclairage avant l'entrée en production	24 jours	-16 jours
Date de début pour évaluation de l'effet de l'éclairage sur la production	08-avr	08-avr
Date de fin pour évaluation de l'effet de l'éclairage sur la production ^C	29-juin	29-juin
Nombre de jours d'évaluation de la production avant effet de l'EA	0 jour	40 jours
Nombre de jours d'évaluation de la production avec l'effet de l'EA	83 jours	83 jours
a) Nombre de jours jusqu'à la fin de l'EA	51 jours	51 jours
b) Nombre de jours après la fin de l'EA	34 jours	34 jours

^A Pour le complexe 1, les plants proviennent de drageons prélevés sur des plants mères. Ils sont enracinés sur des cubes et mis par la suite sur les pains de substrat de fibres de coco pour la culture. Pour le complexe 2, ils sont issus d'un semis normal.

^B Pour le complexe 2, de la période de l'entrée en production jusqu'au 8 avril, date du début de l'évaluation de la production pour l'effet de l'EA, a servi à vérifier si les 3 parcelles des 3 traitements produisaient de façon égale.

^C La récolte du 30 juin est pour les tomates produites les 28 et 29 juin. Il en est ainsi pour chaque date de récolte afin d'être harmonisé avec le bilan lumineux.

Photo 20 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013, jour de récolte



Note : En haut, le bruleur pour générer le gaz carbonique (CO₂).
Photo de LED Innovation Design.

**Tableau 64 : Serres Ovation - Complexe 1
Calendrier et densité de culture des parcelles expérimentales**

Opération	Date	Densité
Plantation ^A	7 février	4 plants par pain de substrat 3,32 tiges par m ² (20 tiges par demi-rang)
1 ^{ère} récolte	12 avril	Récolte sur 3,32 tiges par m ²
Dernière récolte pour évaluer l'effet de l'EA	30 juin	Récolte sur 20 tiges par demi-rang de 7,5 m de long ^B .

^A Les plants proviennent de plant mères. Ils sont enracinés sur des cubes et mis par la suite sur les pains de substrat pour la culture.

^B S'il n'y a pas eu de substitution pour des tiges brisées ou stériles. Même avec une tige substituée la densité de culture reste la même.

Tableau 65 : Serres Ovation - Complexe 2
Calendrier et densité de culture des parcelles expérimentale

Opération	Date	Densité
Plantation ^A	3 janvier	3 plants par pain de substrat 2,49 tiges par m ² (15 tiges par demi-rang)
Ajout de 1 tige par 3 plants	12 février	3,32 tiges par m ² (20 tiges par demi-rang) Voir la Photo 21.
1 ^{ère} récolte	25 février	Récolte sur 2,49 tiges par m ²
Récolte sur la tige ajoutée	22 avril	Récolte sur 3,32 tiges par m ²
Dernière récolte pour évaluer l'effet de l'EA	30 juin	Récolte sur 20 tiges par demi-rang de 7,5 m de long ^B .

^A Les plants proviennent d'un semis fait le 10 novembre 2012.

^B S'il n'y a pas eu de substitution pour des tiges brisées ou stériles. Même avec une tige substituée la densité de culture reste la même.

Photo 21 : Serres Ovation - Complexe 2, le 13 mars 2013, parcelle DEL



Note : Les cordes bleues correspondent à l'ajout d'une tige par trois plants faite le 12 février 2013 pour obtenir une densité de 3,32 plants par m² (quatre tiges par pain de substrat). Les rubans rouges sont deux des cinq plants de références suivies avec les données *Tom Pouce*.

Photo de *LED Innovation Design*.

3.3.2.2. Résultats, analyses et discussions

Dates d'entrée en production

Les trois parcelles ont eu des dates d'entrées en production légèrement différentes (voir le Tableau 66). L'entrée en production se définit dans ce projet comme une production d'au moins 0,16 kg/m² pour une première récolte ce qui signifie 1,0 kg pour un demi-rang dans la parcelle expérimentale soient 20 tiges.

**Tableau 66 : Serres Ovation - Complexe 1
Dates d'entrée en production des parcelles
selon le traitement d'éclairage artificiel**

Traitement	Date d'entrée en production
HPS	5 avril
DEL	8 avril
Parcelle sans EA	9 avril

Le Tableau 66 démontre l'influence positive sur le temps d'entrée en production même si le début de l'EA fut le 15 mars ce qui donne seulement 24 jours avant le 8 avril. Le montage HPS ayant eu deux fois plus d'intensité lumineuse par l'EA, la parcelle HPS fut la première à entrer en production. Les productions des parcelles HPS et DEL sont entrées dans la production enregistrée dès leur début.

Le Tableau 67 montrent les données de production en termes de :

- Rendement par mètre carré (kg/m²).
- Nombre de fruits produits par m²
- Calibre des fruits
- Classement
- Performance relative par rapport à la parcelle sans EA et pour les 4 éléments ci-dessus.

Tableau 67 : Serres Ovation - Complexe 1
Résultats de production par parcelle et traitement
Tomates roses de serre
(4 demi-rangs de 20 tiges chacun et occupant un total de 24,10 m²)

Période	8 avril au 26 mai avec EA			27 mai au 29 juin sans EA			Total des périodes		
Durée de la période (jours)	49			34			83		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Total de la production									
kg/m ²	13,7	12,7	11,7	10,3	9,4	9,9	24,0	22,1	21,6
Nombre de fruits /m ²	64	62	58	51	51	49	115	113	107
Calibre des fruits g	213	204	202	205	185	201	210	196	202
Production de fruits classés #1									
% au classement	93	92	90	96	96	96	95	94	93
kg/m ²	12,8	11,7	10,5	10,0	9,1	9,5	22,7	20,8	20,0
Nombre de fruits /m ²	60	58	52	48	48	47	108	105	99
Calibre des fruits g	213	203	201	206	189	205	210	197	203
Production de fruits déclassés									
% au classement	7	8	10	4	4	4	5	6	7
kg/m ²	0,9	1,0	1,2	0,4	0,3	0,4	1,3	1,3	1,6
Nombre de fruits /m ²	4	5	6	2	3	3	6	7	8
Calibre des fruits g	218	211	211	172	119	133	202	176	185
Performance relative vs témoin									
Classement de #1	104	103	100	100	100	100	102	101	100
Total kg/m ²	117	109	100	104	95	100	111	102	100
Nombre total de fruits /m ²	111	108	100	103	103	100	107	105	100
Calibre des fruits g	106	101	100	102	92	100	104	97	100

Il faut regarder les résultats du Tableau 67 en gardant à l'esprit que l'ajout de lumière par les luminaires dans la PAR, par rapport à la lumière naturelle, correspond à 27,4 % pour les luminaires HPS et à 14,7 % pour les luminaires DEL²¹. Que l'apport de l'EA se soit fait en moyenne 12 jours (24 jours divisé par 2) avant le début de la production n'a pas d'importance significative, puisque les plants accumulent cette énergie et qu'elle n'est relâchée complètement sous forment de production de fruits mûrs avant 5 semaines après l'arrêt de l'EA comme il sera bien démontré avec les résultats du complexe 2.

La section sur la performance relative démontre que, pour la période du 8 avril au 26 mai, l'effet de l'EA est significatif. Cependant par la suite l'effet de l'EA a presque disparu par la suite durant la période du 27 mai au 29 juin.

Le Graphique 7 et le Tableau 68 montrent une chute marquée de production pour les semaines 18 à 21 (zone picotée en gris dans le Tableau 68). Le graphique utilisant une moyenne mobile

²¹ Ceci considère 577,8 mol/m² et 311,3 mol/m² HPS et DEL respectivement et la radiation solaire cumulée à l'intérieur de la serre pour la période du 8 avril au 29 juin de 2 087 mol/m² pour le complexe 1. Ceci est différent de ce qu'on retrouve dans le Tableau 29 du bilan lumineux étant donné que la radiation intérieure couverte est de 133 jours vs 83 jours qui correspond à la durée de la période de récolte pour mesurer le rendement agronomique.

de 4 semaines pondère les écarts de production et décale dans le temps cette chute de production.

Cette chute de production a été occasionnée par une forte mortalité racinaire vers la fin d'avril et dont l'effet s'est fait sentir de façon prononcée durant les trois premières semaines de mai et avec un effet résiduel par la suite. La perte racinaire réduit la capacité de la plante à faire des échanges gazeux tout comme une DPV (différentiel de pression de vapeur) trop basse ou trop haute. La plante se protège pour maintenir son équilibre hydrique ne pouvant ainsi profiter pleinement de la lumière.

Graphique 7 : Serres Ovation - Complexe 1 - Moyenne mobile 4 semaines de production

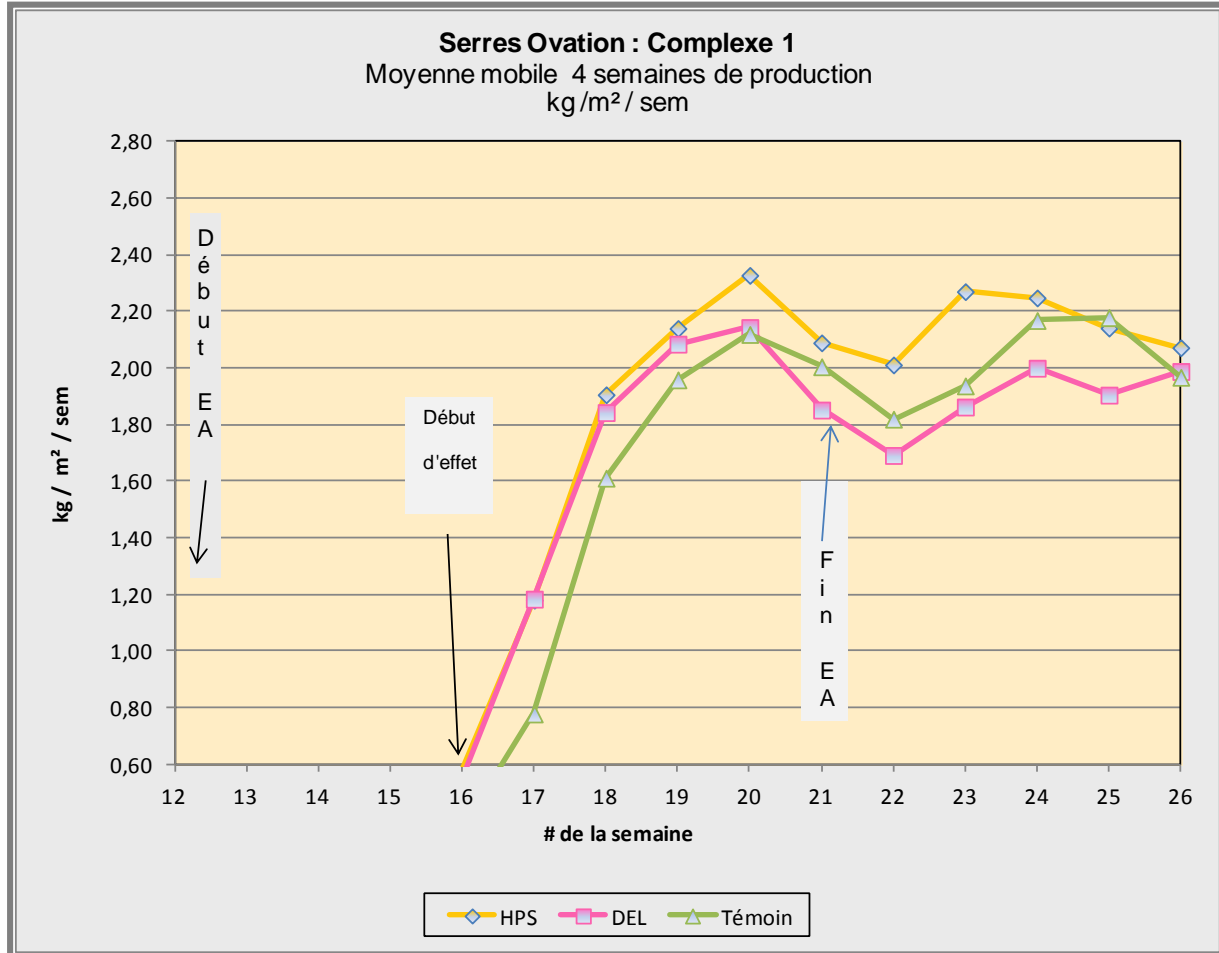


Tableau 68 : Serres Ovation - Complexe 1
Total de la production hebdomadaire et moyenne mobile de 4 semaines
de celle-ci pour la période du 8 avril ^A au 29 juin 2013

Semaine	total hebdomadaire de la production kg/m ² /sem			moyenne mobile 4 semaines kg/m ² /sem		
	HPS	DEL	Témoïn	HPS	DEL	Témoïn
9	0,00	0,00	0,00			
10	0,00	0,00	0,00			
11	0,00	0,00	0,00			
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
15	0,63	0,46	0,43	0,18	0,12	0,11
16	1,60	1,73	1,05	0,58	0,55	0,37
17	2,42	2,54	1,63	1,18	1,18	0,78
18	2,98	2,64	3,33	1,91	1,84	1,61
19	1,56	1,43	1,82	2,14	2,08	1,96
20	2,35	1,96	1,70	2,33	2,14	2,12
21	1,46	1,38	1,17	2,09	1,85	2,00
22	2,66	2,00	2,59	2,01	1,69	1,82
23	2,60	2,12	2,29	2,27	1,86	1,94
24	2,26	2,51	2,62	2,25	2,00	2,17
25	1,04	1,00	1,21	2,14	1,90	2,18
26	2,39	2,33	1,75	2,07	1,99	1,97

^A Le 8 avril correspond au début de la semaine 15.

Résultats de production du complexe 2

Bilan de la production au 7 avril 2013

Le suivi de production pour chacune des parcelles expérimentales a été mis en place dès l'entrée en production du complexe 2. Ceci avait pour but d'avoir une estimée du niveau homogénéité de la productivité des trois parcelles. La date d'entrée en production fut le 1^{er} mars pour le HPS et le 25 février pour la parcelle de référence. Ceci est probablement dû à la façon dont la mise en culture s'est faite. Sur le Graphique 8 avec la moyenne mobile de 4 semaines, on constate que le 7 avril, les 3 parcelles ont un niveau assez égal de productivité. Le 7 avril nous sommes donc à environ 40 jours de production avec des productions cumulées quelque peu différentes selon les parcelles (Tableau 69). L'entrée en production se définit dans ce projet comme une production d'au moins 0,16 kg/m² pour une première récolte ce qui signifie 1,0 kg pour un demi-rang dans la parcelle expérimentale soient 20 tiges.

**Tableau 69 : Serres Ovation - Complexe 2
Production cumulée au 7 avril 2013
selon le traitement d'éclairage artificiel**

Parcelle	Production kg/m ²
HPS	6,12
DEL	6,26
Parcelle sans EA	6,77

Le Tableau 70 montrent les données de production en termes de :

- Rendement par mètre carré (kg/m²).
- Nombre de fruits produits par m²
- Calibre des fruits
- Classement
- Performance relative par rapport à la parcelle sans EA et pour les 4 éléments ci-dessus.

**Tableau 70 : Serres Ovation - Complexe 2
Résultats de production par parcelle et traitement
Tomates roses de serre**

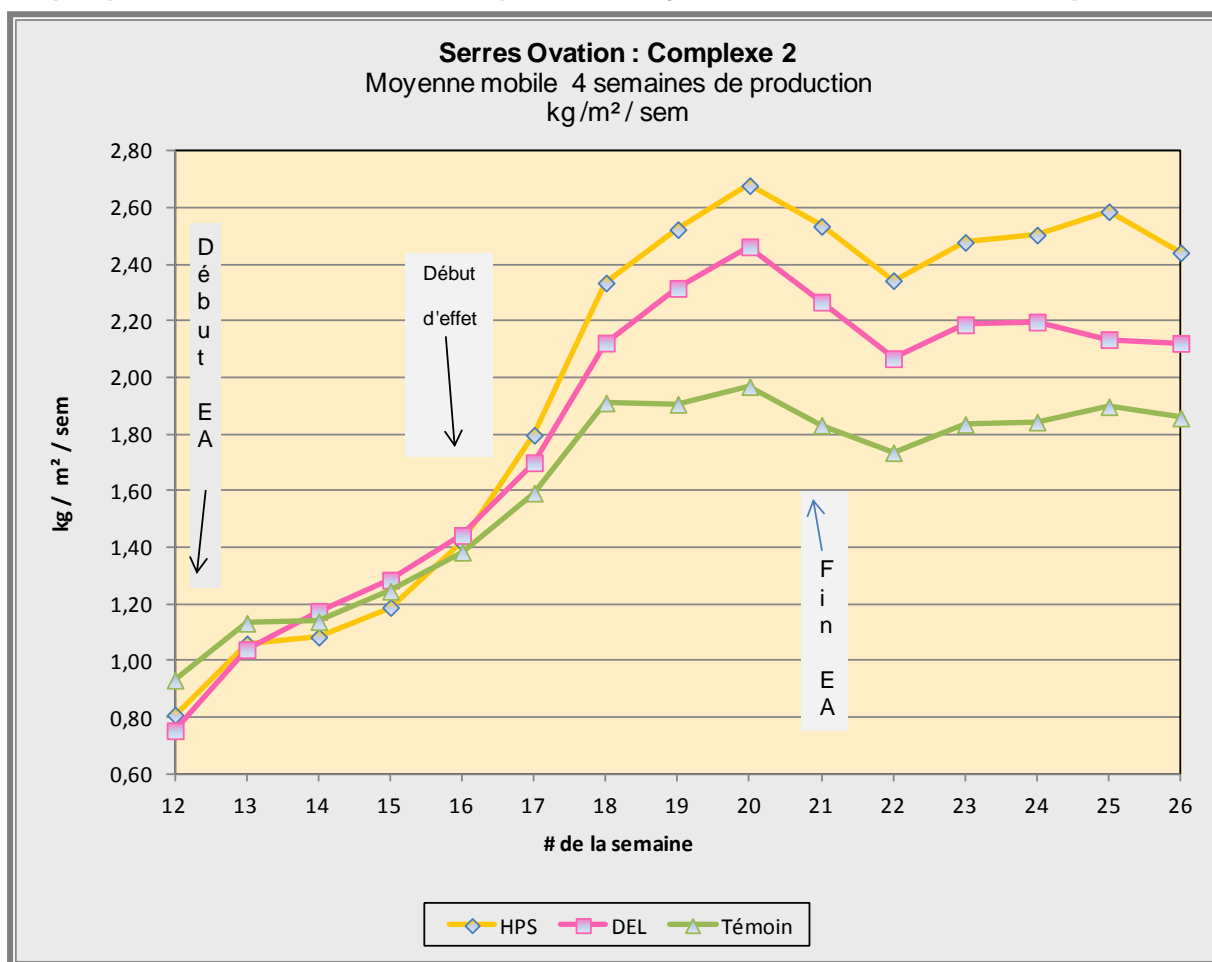
(4 demi-rangs de 20 tiges chacun et occupant un total de 24,10 m²)

Période	8 avril au 26 mai avec EA			27 mai au 29 juin sans EA			Total des périodes		
Durée de la période (jours)	49			34			83		
Traitement	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
Total de la production									
kg/m ²	16,1	14,7	12,5	11,8	10,1	8,9	27,9	24,7	21,5
Nombre de fruits /m ²	82	73	72	58	56	50	140	129	123
Calibre des fruits g	195	201	174	203	181	177	199	192	175
Production de fruits classés #1									
% au classement	95	95	95	97	95	96	96	95	95
kg/m ²	15,2	14,0	11,9	11,4	9,6	8,5	26,7	23,6	20,4
Nombre de fruits /m ²	78	68	68	55	51	46	133	119	114
Calibre des fruits g	196	205	177	208	187	185	201	198	180
Production de fruits déclassés									
% au classement	5	5	5	3	5	4	4	5	5
kg/m ²	0,8	0,7	0,6	0,3	0,5	0,4	1,2	1,1	1,0
Nombre de fruits /m ²	5	5	5	3	4	4	8	9	9
Calibre des fruits g	180	140	131	110	108	92	152	125	112
Performance relative vs témoin									
Classement de #1	100	100	100	102	100	100	101	100	100
Total kg/m ²	128	117	100	132	113	100	130	115	100
Nombre total de fruits /m ²	114	101	100	115	110	100	114	105	100
Calibre des fruits g	113	116	100	115	102	100	113	110	100

Pour le complexe 2, l'ajout de lumière par les luminaires dans la PAR, par rapport à la lumière naturelle, correspond à 27,3 % pour les luminaires HPS et à 14,7 % pour les luminaires DEL²². Que l'apport de l'EA ait débuté 24 jours avant le début de l'évaluation de la production n'a pas d'importance significative, puisque les plants accumulent cette énergie et qu'elle n'est relâchée complètement sous forme de production de fruits mûrs que 4 à 5 semaines plus tard. Nous pouvons remarquer dans le Tableau 71 que ce n'est qu'à la semaine 16 que nous avons l'effet de l'éclairage qui apparaît. Dans le Tableau 71 et au Graphique 8, on constate également que ce n'est qu'après 5 semaines de la fin de l'éclairage que son effet se sera en grande partie estompé.

Dans la section sur la performance relative du Tableau 70, le taux d'accroissement de la production correspond de très près à l'ajout de lumière qui a été fait avec l'EA et ce, autant durant la période d'éclairage que durant la période lui succédant jusqu'au 29 juin. Il s'agit là d'un niveau de correspondance très élevé qui n'est dû au hasard.

Graphique 8 : Serres Ovation - Complexe 2 - Moyenne mobile 4 semaines de production



²² Ceci considère 578 mol/m² et 311 mol/m² HPS et DEL respectivement et la radiation solaire cumulée à l'intérieur de la serre pour la période du 8 avril au 29 juin de 2 113 mol/m² pour le complexe 2. Ceci est différent de ce qu'on retrouve dans le Tableau 29 du bilan lumineux étant donné que la radiation intérieure couverte est de 133 jours vs 83 jours qui correspond à la durée de la période de récolte pour mesurer le rendement agronomique.

Tableau 71 : Serres Ovation - Complexe 2
Total de la production hebdomadaire et moyenne mobile
de 4 semaines de celle-ci pour la période du 8 avril ^A au 29 juin 2013

Semaine	total hebdomadaire de la production kg/m ² /sem			moyenne mobile 4 semaines kg/m ² /sem		
	HPS	DEL	Témoin	HPS	DEL	Témoin
9	0,08	0,24	0,52			
10	1,11	0,81	1,15			
11	1,06	0,76	0,96			
12	0,98	1,20	1,09	0,81	0,75	0,93
13	1,09	1,39	1,32	1,06	1,04	1,13
14	1,20	1,35	1,18	1,08	1,17	1,14
15	1,48	1,20	1,39	1,19	1,28	1,25
16	1,90	1,83	1,65	1,42	1,44	1,38
17	2,61	2,42	2,16	1,80	1,70	1,59
18	3,35	3,04	2,45	2,33	2,12	1,91
19	2,23	1,98	1,37	2,52	2,32	1,91
20	2,52	2,41	1,90	2,68	2,46	1,97
21	2,03	1,64	1,61	2,53	2,27	1,83
22	2,59	2,24	2,06	2,34	2,07	1,73
23	2,77	2,45	1,77	2,48	2,19	1,83
24	2,62	2,45	1,93	2,50	2,20	1,84
25	2,36	1,39	1,83	2,59	2,13	1,90
26	2,01	2,19	1,90	2,44	2,12	1,86

^A Le 8 avril correspond au début de la semaine 15

Utilisation de la lumière selon les traitements et les lots

Les résultats rapportés dans les pages précédentes, pour le complexe 2, peuvent nous inciter à poser la question :

« Jusqu'à quel point, les plants de tomates ont-ils utilisé plus efficacement la lumière provenant de l'éclairage artificiel comparée à celle provenant uniquement des radiations naturelles transmises dans la serre? »

Pour tenter de répondre à cette question, nous pouvons diviser la quantité de lumière fournie par la masse de tomates produites sur la base d'un (1,0) mètre carré pour une période donnée. La période de production ici est de 73 jours utilisée dans le tableau xx9 et correspondant au bilan agronomique représente environ 1,75 rotation de la charge de tomates portée par un plant. Tel que souligné précédemment, la période de 34 jours après l'arrêt de l'éclairage permet de libérer la masse produite par l'ajout de l'éclairage artificiel. Nous avons commencé à mesurer la production avant que l'effet de l'éclairage artificiel sur la production ne se soit manifesté. En conséquence, le bilan de production exprime correctement l'apport de l'éclairage artificiel dans le complexe 2.

Dans la section **Performance relative vs témoin** du Tableau 72 nous constatons que la lumière de l'EA a été utilisée plus efficacement pour la production de tomates que la lumière naturelle. Ce constat a aussi été fait chez Les Serres Lefort et il peut être retrouvé dans la littérature scientifique.

Ce résultat indique également que la prise de données et leurs traitements pour les différents bilans ont été bien faits.

Les gains en production nous indiquent que l'EA a été utilisé plus efficacement d'environ 10 % par rapport à la lumière naturelle (Témoin). Avec une gestion plus agressive de la DPV, ce gain d'efficacité de la lumière artificielle serait encore plus important.

Nous rappelons à ce point-ci que l'évaluation économique a été faite comme si les plants de tomates utilisaient la lumière provenant de l'éclairage artificiel avec la même efficacité que la lumière naturelle.

Tableau 72 : Serres Ovation - Comparaison et estimation du taux d'utilisation de la lumière ajoutée par les luminaires versus la lumière naturelle ^A

	Témoin	Total		Ajout	
		HPS	DEL	HPS	DEL
Lumière PAR moles/m ²	2 112,5	2 690,5	2 423,9	578,0	311,4
Production kg/m ²	21,0	27,4	24,5	6,4	3,4
mol/kg	100,4	98,1	99,2	90,5	91,5
Performance relative vs témoin	100	98	99	91	91

^A La lumière naturelle est celle cumulée du 8 avril au 29 juin à l'intérieur de la serre et l'ajout de la lumière émise par les luminaires correspond à celle retrouvée dans le bilan lumineux pour 73 jours d'EA.

3.4. Établir le profil de consommation énergétique des DEL et des HPS

3.4.1. Les Serres Lefort

3.4.1.1. Démarche

La consommation électrique a été établie avec le temps de fonctionnement des luminaires et par la vérification de la puissance consommée des circuits électriques alimentant d'une part les DEL et d'autre part les HPS. La puissance consommée et mesurée a été ramenée pour un luminaire DEL et un luminaire HPS.

Le temps de fonctionnement provient du système de contrôle et d'acquisition de données PRIVA de l'entreprise. Les capteurs de lumière d'Onset Computer (Hobo) ont validé le temps de fonctionnement au besoin. Pour l'ensemble des capteurs, la fréquence d'enregistrement des données a été faite avec un intervalle de deux minutes.

Finalement, une estimation de l'apport de chaleur à la chauffe provenant des systèmes d'éclairage artificiel a été faite en tenant en compte : de la puissance consommée des luminaires, des périodes d'utilisation des luminaires et des écrans thermiques, du lever et du coucher du soleil et des historiques météo 30 ans. En effet, seule une partie de l'énergie utilisée pour alimenter les luminaires est transformée en lumière. Le reste est transformé en chaleur. Pour estimer cet apport de chaleur, les hypothèses de travail suivante ont été appliquées :

- 55 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques sont déployés et les toits sont fermés (soir).
- 35 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques sont déployés et les toits sont fermés (soir).
- 25 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques ne sont pas déployés et les toits sont fermés (jour) .
- 5 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques ne sont pas déployés et les toits sont fermés (jour).

Également, il a été pris comme hypothèse de travail que les serres 36 et 37 utilisent pour répondre au besoin de chauffe 10,76 kWh net /m² plancher de serre par 100 DJc. Ce ratio provient des divers audits énergétiques réalisés par le CIDES dans le domaine serricole et il est représentatif des serres utilisant des écrans thermiques dans le domaine ornementale ou de production de laitue (feuillage comestible) et n'ayant pas une grosse charge de déshumidification comme dans les tomates, les poivrons ou les concombres. Bref, ceci correspond aux caractéristiques physiques et de production des serres 36 et 37 (dans le complexe servant à la production de plantules de laitue).

3.4.1.2. Résultats, analyses et discussions

Puissance mesurée des systèmes d'éclairage artificiel

Le Tableau 73 présente les puissances mesurées le 23 mai 2013 des luminaires HPS et DEL. Pour le HPS, la moyenne des deux serres a été évalué à 771 W/luminaire. Ces données de base sont utilisées lors de l'évaluation économique.

Tableau 73 : Les Serres Lefort - Puissances mesurée pour le HPS et le DEL

Serre 36 HPS

Phase couleur	Courant (A)	Tension (V)	Puissance apparente (VA)	Facteur de puissance	Puissance Réel (W)
Bleu	9,00	350	3 150	0,98	3 087
Noir	4,25	355	1 509	0,98	1 479
rouge	13,28	354	4 701	0,98	4 607
total			9 360		9 173

12 lampes allumés

VA par lampe : 780,0 W par lampe

Serre 37 HPS

Phase couleur	Courant (A)	Tension (V)	Puissance apparente (VA)	Facteur de puissance	Puissance Réel (W)
Bleu	9,16	356	3 261	0,98	3 196
Noir	13,45	351	4 721	0,98	4 627
rouge	4,32	355	1 534	0,98	1 503
total			9 516		9 325

12 lampes allumés

VA par lampe : 793,0 W par lampe

DEL

Phase couleur	Courant (A)	Tension (V)	Puissance apparente (VA)	Facteur de puissance	Puissance Réel (W)
Noir	13,75	236	3 245	1,00	3 245

16 barres

VA Par barre : 202,8 W par lampe

Contribution à la chauffe des systèmes d'éclairage artificiel par l'apport de chaleur

Tout système d'éclairage artificiel contribue à l'apport de chaleur dans la serre. En fonction des caractéristiques de la serre (exemples : isolation, dimensions, systèmes en place : éclairage artificiel, écran thermique) et de la période d'utilisation de la serre, de l'éclairage artificiel et des écrans thermiques, cet apport varie.

Le Tableau 74 et le Tableau 75 présente le résultat d'une simulation concernant l'apport de chaleur à la chauffe qui proviendrait d'un système d'éclairage artificiel HPS ou DEL. Cette simulation tient compte des caractéristiques techniques des luminaires, des consignes de chauffe et d'opération, d'une météo normalisée 30 ans et du ratio d'efficacité énergétique équivalent à ce qu'on pourrait retrouver pour des serres tel que 36 et 37.

Tableau 74 : Les Serres Lefort - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires HPS (simulation)

Mois	Durée moyenne		Consignes de chauffe			Besoins de chauffe		n ^{bre} de jour où l'EA et l'ET sont utilisés ²³	Écran thermique		n ^{bre} d'heures d'EA ²⁴	Apport net de chaleur à la chauffe provenant de l'EA	Portion de la chauffe par l'EA	Taux rétention moyenne de la chaleur pour la période seulement où l'EA et l'ET sont en activités
	jour	nuite	jour	nuite	24 h	normalisé ²⁵	énergie		Début (fermeture)	Fin (ouverture)				
	h	h	°C	°C	°C	DJc-m ²	kWh _{NET} /m ²		h	h	h	kWh _{NET-EA} /m ²	%	%
JAN	9,23	14,77	13	12	12,38	706,9	76,1	31	16:11	07:57	558	10,1	13,3%	42,9%
FEV	10,44	13,56	13	12	12,44	599,2	64,5	28	16:51	07:25	504	8,8	13,7%	41,5%
MAR	11,96	12,04	13	12	12,50	462,4	49,8	31	17:32	06:34	558	9,4	18,8%	39,7%
AVR	13,54	10,46	13	12	12,56	205,9	22,2	15	18:11	05:38	135	3,1	13,9%	53,8%
MAI	14,89	9,11	13	12	12,62	0,0	0,0	0	19:18	04:25	0			
JUN	15,57	8,43	13	12	12,65	0,0	0,0	0			0			
JUL	15,22	8,78	13	12	12,63	0,0	0,0	0			0			
AOÛ	14,02	9,98	13	12	12,58	0,0	0,0	0			0			
SEP	12,50	11,50	13	12	12,52	15,6	1,7	29	18:04	05:34	261	1,7	100,0%	49,7%
OCT	10,93	13,07	13	12	12,46	191,1	20,6	31	16:38	06:42	558	8,8	42,9%	37,5%
NOV	9,54	14,46	13	12	12,40	324,9	35,0	30	15:55	07:23	540	9,6	27,4%	41,9%
DEC	8,82	15,18	13	12	12,37	600,4	64,6	31	15:45	07:56	558	10,3	15,9%	43,7%
Global						3 106,5	334,4	226			3 672	61,8	18,5%	42,3%

Notes :

HPS : puissance mesurée de 825 W/luminaire.

Utilisation d'un écran thermique.

²³ EA = Éclairage artificiel, ET = Écrans thermiques

²⁴ Il est basé sur le nombre de jours d'utilisation par mois et le programme d'éclairage.

²⁵ Il est basé sur un ratio d'efficacité énergétique de 1,00 kWh_{net}/m² / 100 DJc

Tableau 75 : Les Serres Lefort - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires DEL (simulation)

Mois	Durée moyenne		Consignes de chauffe			Besoins de chauffe		n ^{bre} de jour où l'EA et l'ET sont utilisés ²⁶	Écran thermique		n ^{bre} d'heures d'EA ²⁷	Apport net de chaleur à la chauffe provenant de l'EA	Portion de la chauffe par l'EA	Taux rétention moyenne de la chaleur pour la période seulement où l'EA et l'ET sont en activités
	jour	nuît	jour	nuît	24 h	normalisé ²⁸	énergie		Début (fermeture)	Fin (ouverture)				
	h	h	°C	°C	°C	DJc-m ²	kWh _{NET} /m ²		h	h	h	kWh _{NET-EA} /m ²	%	%
JAN	9,23	14,77	13	12	12,38	706,9	76,1	31	16:11	07:57	558	8,3	10,9%	42,9%
FEV	10,44	13,56	13	12	12,44	599,2	64,5	28	16:51	07:25	504	7,2	11,2%	41,5%
MAR	11,96	12,04	13	12	12,50	462,4	49,8	31	17:32	06:34	558	7,7	15,4%	39,7%
AVR	13,54	10,46	13	12	12,56	205,9	22,2	15	18:11	05:38	135	2,5	22,7%	53,8%
MAI	14,89	9,11	13	12	12,62	0,0	0,0	0	19:18	04:25	0			
JUN	15,57	8,43	13	12	12,65	0,0	0,0	0			0			
JUL	15,22	8,78	13	12	12,63	0,0	0,0	0			0			
AOÛ	14,02	9,98	13	12	12,58	0,0	0,0	0			0			
SEP	12,50	11,50	13	12	12,52	15,6	1,7	29	18:04	05:34	261	1,6	100,0%	49,7%
OCT	10,93	13,07	13	12	12,46	191,1	20,6	31	16:38	06:42	558	7,2	35,2%	37,5%
NOV	9,54	14,46	13	12	12,40	324,9	35,0	30	15:55	07:23	540	7,8	22,4%	41,9%
DEC	8,82	15,18	13	12	12,37	600,4	64,6	31	15:45	07:56	558	8,4	13,1%	43,7%
Global						3 106,5	334,4	226			3 672	50,9	15,8%	42,3%

Notes :

DEL : puissance mesurée de 203 W/luminaire.

DEL avec lentilles et utilisation de l'écran thermique.

²⁶ EA = Éclairage artificiel, ET = Écrans thermiques

²⁷ Il est basé sur le nombre de jours d'utilisation par mois et le programme d'éclairage.

²⁸ Il est basé sur un ratio d'efficacité énergétique de 1,00 kWh_{net}/m² / 100 DJc

3.4.2. Serres Ovation

3.4.2.1. Démarche

La consommation électrique a été établie avec le temps de fonctionnement des luminaires et par la vérification de la puissance consommée des circuits électriques alimentant d'une part les DEL et d'autre part les HPS. La puissance consommée et mesurée a été ramenée pour un luminaire DEL et un luminaire HPS.

La consommation électrique a été établie avec le temps de fonctionnement (Ordinateur PRIVA et capteurs de lumière) des luminaires et par la vérification de la puissance consommée des circuits électriques HPS et DEL. Les capteurs de lumière d'Onset Computer (Hobo) ont validé le temps de fonctionnement au besoin. Pour l'ensemble des capteurs, la fréquence d'enregistrement des données a été faite avec un intervalle de deux minutes.

Finalement, une estimation de l'apport de chaleur à la chauffe provenant des systèmes d'éclairage artificiel a été faite en tenant en compte : de la puissance consommée des luminaires, des périodes d'utilisation des luminaires et des écrans thermiques, du lever et du coucher du soleil et des historiques météo 30 ans. En effet, seule une partie de l'énergie utilisée pour alimenter les luminaires est transformée en lumière. Le reste est transformé en chaleur. Pour estimer cet apport de chaleur, les hypothèses de travail suivante ont été appliquées :

- 25 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques ne sont pas déployés et les toits sont fermés (jour et soir) .
- 5 % de la puissance consommée par les systèmes d'éclairage artificiel contribue à la chauffe lorsque les écrans thermiques ne sont pas déployés et les toits sont fermés (jour et soir).

Également, il a été pris comme hypothèse de travail que les complexes 1 et 2 utilisent pour répondre au besoin de chauffe 12,92 kWh net /m² plancher de serre par 100 DJc. Ce ratio provient des divers audits énergétiques réalisés par le CIDES dans le domaine serricole et il est représentatif des serres utilisant des écrans thermiques dans le domaine maraîcher (production de tomates). De plus, on a tenu compte des charges supplémentaires d'énergie liées à la déshumidification de la serre pour évaluer les besoins énergétiques, car la production de tomates demande beaucoup de déshumidification. Bref, ceci correspond aux caractéristiques physiques et de production des serres des complexes 1 et 2 qui servent à la production de tomates.

3.4.2.2. Résultats, analyses et discussions

Puissance mesurée des systèmes d'éclairage artificiel

Le Tableau 76 présente les puissances mesurées le 14 mai 2013 des luminaires HPS et DEL. Ces données de base sont utilisées lors de l'évaluation économique.

Tableau 76 : Serres Ovation - Puissances mesurée pour le HPS et le DEL

Complexe 1									
		Valeurs mesurés		Valeurs calculés					
Phase	Description	Courant (A)	Tension (V)	Puissance app (VA)	PF	Puissance réelle installé (W)	Puissance total installé (W)	Nb amp (ch)	Puissance par luminaire (W)
L1	HPS serre 1, fil noir	17,2	230,0	3956,0	0,97	3837,3			
L1	HPS serre 1, fil rouge	17,2							
L2	HPS serre 1, noir	17,2	230,0	3956,0	0,97	3837,3	7674,6	11	672,5
L2	HPS serre 1, rouge	17,2							
L1	DEL serre 1	7,0	230,0	1610,0	1,00	1610,0			
L1	DEL serre 1	7							
L2	DEL serre 1	8,1	230,0	1863,0	1,00	1863,0	3473,0	15	231,5
L2	DEL serre 1	8							

Complexe 2									
		Valeurs mesurés		Valeurs calculés					
Phase	Description	Courant (A)	Tension (V)	Puissance app (VA)	PF	Puissance réelle installé (W)	Puissance total installé (W)	Nb amp (ch)	Puissance par luminaire (W)
L1	HPS serre 2	14,5	236,0	3422,0	0,97	3319,3			
L1	HPS serre 2	18							
L2	HPS serre 2	18	235,0	4230,0	0,97	4103,1	7422,4	11	674,8
L2	HPS serre 2	14,8							
L1	DEL serre 2	8,1	235,0	1903,5	1,00	1903,5			
L1	DEL serre 2	8,1							
L2	DEL serre 2	7	235,0	1645,0	1,00	1645,0	3548,5	15	236,6
L2	DEL serre 2	7							

Contribution à la chauffe des systèmes d'éclairage artificiel par l'apport de chaleur

Tout système d'éclairage artificiel contribue à l'apport de chaleur dans la serre. En fonction des caractéristiques de la serre (exemples : isolation, dimensions, systèmes en place : éclairage artificiel, écran thermique) et de la période d'utilisation de la serre, de l'éclairage artificiel et des écrans thermiques, cet apport varie.

Le Tableau 74 et le Tableau 75 présente le résultat d'une simulation concernant l'apport de chaleur à la chauffe qui proviendrait d'un système d'éclairage artificiel HPS ou DEL. Cette simulation tient compte des caractéristiques techniques des luminaires, des consignes de chauffe et d'opération, d'une météo normalisée 30 ans et du ratio d'efficacité énergétique équivalent à ce qu'on pourrait retrouver pour des serres tel qu'il existe pour le complexes 1 et 2.

Tableau 77 : Serres Ovation - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires HPS (simulation)

Mois	Durée moyenne		Consignes de chauffe			Besoins de chauffe		n ^{bre} de jour où l'EA et l'ET sont utilisés ²⁹	Écran thermique		n ^{bre} d'heures d'EA ³⁰	Apport net de chaleur à la chauffe provenant de l'EA	Portion de la chauffe par l'EA	Taux rétention moyenne de la chaleur pour la période seulement où l'EA et l'ET sont en activités
	jour	nuite	jour	nuite	24 h	normalisé ³¹	énergie		Début (fermeture)	Fin (ouverture)				
	h	h	°C	°C	°C	DJc-m ²	kWh _{NET} /m ²		h	h	h	kWh _{NET-EA} /m ²	%	%
JAN	9,14	14,86	18,5	18,0	18,2	898,8	118,7	28	16:06	07:58	404	12,7	10,7%	24,9%
FEV	10,39	13,61	18,5	18,0	18,2	760,1	103,4	28	16:48	07:25	386	11,4	11,0%	23,4%
MAR	11,96	12,04	18,0	18,0	18,0	646,7	88,8	31	17:30	06:33	404	10,8	12,2%	21,2%
AVR	13,58	10,42	18,0	18,0	18,0	366,8	52,6	30	18:10	05:35	366	7,7	14,6%	16,6%
MAI	14,98	9,02	18,0	18,0	18,0	164,3	26,4	21	19:19	04:20	242	2,8	10,6%	9,2%
JUN	15,68	8,32	18,0	18,0	18,0	40,7	10,5	0			0			
JUL	15,31	8,69	18,0	18,0	18,0	11,5	6,7	0			0			
AOÛ	14,08	9,92	18,0	18,0	18,0	23,6	8,3	0			0			
SEP	12,52	11,49	18,0	18,0	18,0	111,2	19,6	30	18:02	05:32	382	5,6	28,8%	11,7%
OCT	10,90	13,10	18,0	18,0	18,0	310,9	45,4	31	16:35	06:41	420	9,6	21,1%	18,1%
NOV	9,47	14,54	18,0	18,0	18,0	495,0	69,2	30	15:51	07:24	428	12,4	17,9%	22,9%
DEC	8,72	15,28	14,9	14,9	14,9	651,3	84,1	7	15:40	07:57	102	3,3	3,9%	25,3%
Global						4 480,9	633,7	236			3 135	76,2	12,0%	19,1%

Notes :

HPS : puissance mesurée de 746 W/luminaire.

Sans écran thermique.

²⁹ EA = Éclairage artificiel, ET = Écrans thermiques

³⁰ Il est basé sur le nombre de jours d'utilisation par mois et le programme d'éclairage.

³¹ Il est basé sur un ratio d'efficacité énergétique de 1,00 kWh_{net}/m² / 100 DJc et il tient compte de la déshumidification de la serre.

Tableau 78 : Serres Ovation - Contribution mensuelle de l'apport de chaleur des luminaires DEL (simulation)

Mois	Durée moyenne		Consignes de chauffe			Besoins de chauffe		n ^{bre} de jour où l'EA et l'ET sont utilisés ³²	Écran thermique		n ^{bre} d'heures d'EA ³³	Apport net de chaleur à la chauffe provenant de l'EA	Portion de la chauffe par l'EA	Taux rétention moyenne de la chaleur pour la période seulement où l'EA et l'ET sont en activités
	jour	nuite	jour	nuite	24 h	normalisé ³⁴	énergie		Début (fermeture)	Fin (ouverture)				
	h	h	°C	°C	°C	DJc-m ²	kWh _{NET} /m ²		h	h	h	kWh _{NET-EA} /m ²	%	%
JAN	9,14	14,86	18,5	18,0	18,2	898,8	118,7	28	16:06	07:58	404	6,6	5,6%	24,9%
FEV	10,39	13,61	18,5	18,0	18,2	760,1	103,4	28	16:48	07:25	386	5,4	5,2%	23,4%
MAR	11,96	12,04	18,0	18,0	18,0	646,7	88,8	31	17:30	06:33	404	5,1	5,7%	21,2%
AVR	13,58	10,42	18,0	18,0	18,0	366,8	52,6	30	18:10	05:35	366	3,6	6,9%	16,6%
MAI	14,98	9,02	18,0	18,0	18,0	164,3	26,4	21	19:19	04:20	242	1,3	5,0%	9,2%
JUN	15,68	8,32	18,0	18,0	18,0	40,7	10,5	0			0			
JUL	15,31	8,69	18,0	18,0	18,0	11,5	6,7	0			0			
AOÛ	14,08	9,92	18,0	18,0	18,0	23,6	8,3	0			0			
SEP	12,52	11,49	18,0	18,0	18,0	111,2	19,6	30	18:02	05:32	382	2,7	13,5%	11,7%
OCT	10,90	13,10	18,0	18,0	18,0	310,9	45,4	31	16:35	06:41	420	4,5	9,9%	18,1%
NOV	9,47	14,54	18,0	18,0	18,0	495,0	69,2	30	15:51	07:24	428	5,8	8,4%	22,9%
DEC	8,72	15,28	14,9	14,9	14,9	651,3	84,1	7	15:40	07:57	102	6,8	8,1%	25,3%
Global						4 480,9	633,7	236			3 135	41,8	6,6%	19,1%

Notes :

DEL : puissance mesurée de 234 W/luminaire.

DEL avec lentilles et sans écran thermique.

³² EA = Éclairage artificiel, ET = Écrans thermiques

³³ Il est basé sur le nombre de jours d'utilisation par mois et le programme d'éclairage.

³⁴ Il est basé sur un ratio d'efficacité énergétique de 1,00 kWh_{net}/m² / 100 DJc et il tient compte de la déshumidification de la serre.

3.5. Dresser le bilan économique de l'utilisation des DEL

L'évaluation économique se fera séparément pour chacune des productions sur lesquelles ont porté les essais soient :

- La production de plantules de laitue chez Les Serres Lefort;
- La production de tomates aux Serres Ovation.

La démarche sera semblable pour chaque production et se composera des points suivants :

1. Coût d'établissement de l'éclairage de photosynthèse;
 - Tel que dans les conditions expérimentales pour les deux modes d'EA
 - Pour une intensité lumineuse dans le PAR égale pour les deux modes lors des points 5 & 6 de cette démarche.
2. Coût d'amortissement du système d'éclairage;
3. Coût de l'entretien et des réparations;
4. Coûts d'utilisation des deux systèmes d'éclairage de photosynthèse;
5. Effet sur la rentabilité de l'éclairage artificiel par l'évaluation de la marge contributive;
6. Période de récupération de l'investissement.

Le coût d'établissement se fait pour l'entière superficie de culture de la serre dans laquelle les essais se sont effectués. L'analyse de rentabilité se fait uniquement pour une intensité lumineuse dans le PAR égale pour les deux modes d'éclairage de photosynthèse (HPS et DEL) et utilise la performance de la culture sans éclairage comme référence de base.

3.5.1. Éléments de base servant au coût d'établissement de l'éclairage de photosynthèse

Les principales composantes du coût d'établissement pour l'éclairage de photosynthèse sont :

- Le luminaire.
- L'ampoule : elle est la plus part du temps inclus avec le coût du luminaire, mais ici nous la séparerons de celui-ci pour faciliter l'établissement du coût d'opération de l'éclairage.
- L'entrée électrique.
- L'installation des luminaires et du câblage nécessaire.
- L'intensité de la puissance installée.
- Le nombre de luminaires requis pour une superficie donnée.

Nous avons tenté d'estimer un coût type d'établissement de l'éclairage artificiel (EA) pour l'endroit, la culture et la superficie dans lesquels le producteur opère sa culture et où le projet fut réalisé. Pour Les Serres Lefort, il s'agit des serres 33 à 38 servants à produire les plantules de laitue avec une superficie éclairée de 2 108 m² et, pour Serres Ovation, il s'agit du complexe 2 avec une superficie éclairée de 2 788 m².

Les caractéristiques techniques de l'éclairage installé sont approximativement les mêmes que celles qui ont prévalu dans les parcelles expérimentales lors de la réalisation du projet; ainsi, ce coût d'établissement de l'éclairage pourra être utilisé lors de la réalisation du bilan économique. Cependant pour les luminaires DEL, il faudra cependant normaliser les coûts et l'intensité de cet éclairage parce que des lentilles ont été utilisées afin garder un flux lumineux représentatif d'une condition où toute la serre serait éclairée avec des luminaires DEL. Cela découle du fait que les luminaires étaient installés à une hauteur permettant à la rampe d'arrosage de

fonctionner. Le coût de ces lentilles accroît significativement le prix des luminaires DEL (108 \$ par luminaire chez Les Serres Lefort et 150 \$ par luminaire chez Serres Ovation)

En plus du contexte technique et de production, il faut garder à l'esprit que le coût d'établissement de l'EA se situe dans un contexte; le coût d'établissement pour 0,5 ha à l'intérieur d'une grappe industrielle, telle que Leamington, ne sera pas le même que celui chez un producteur isolé ayant une superficie assez modeste. Donc, les tableaux de cette section peuvent donner un bon aperçu, mais l'analyse cas par cas pour un projet ou une évaluation de l'EA reste obligatoire.

Le niveau de participation de la main-d'œuvre du producteur pour l'installation des luminaires pourra aussi influencer significativement le coût de l'établissement de l'EA. L'aspect organisationnel du travail et contractuel a donc beaucoup de valeur.

Cette estimation est tributaire des informations que nous avons pu obtenir et correspond à des prix que nous avons pu obtenir durant l'été 2013. Les coûts rapportés peuvent donc varier de façon importante.

3.5.2. Les Serres Lefort, production de plantules de laitue

3.5.2.1. Coût d'établissement de l'éclairage de photosynthèse

Luminaires HPS

Pour les luminaires HPS, les caractéristiques techniques du tableau Tableau 79 et du Tableau 80 correspondent à celles du site où se sont déroulés les essais.

Tableau 79 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Caractéristiques techniques HPS

Description	Valeur	Unité
Superficie éclairée	2 108	m ²
Nombre de luminaires	108	#
Puissance nominale de l'ampoule	750	W
Puissance mesurée moyenne par luminaire ^A	771	W
Densité surfacique de puissance nominale	38,4	W/m ²
Densité surfacique des luminaires	19,5	m ² /luminaire
Intensité mesurée dans le PAR	50,8	μmol m ⁻² s ⁻¹
Ampérage de l'entrée	300	A
Voltage en distribution (mesuré 354)	347	V

^A Voir la section Erreur ! Source du renvoi introuvable. à la page Erreur ! Signet non défini..

Tableau 80 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel HPS (108 luminaires de 750 W)

Composante	\$/unité	total \$	\$/m ²
Luminaire	250	27 000	12,81
Ampoule	45	4 860	2,31
Entrée électrique	95	10 410	4,94
Distribution, installation et câblage	222	23 954	11,36
Total	613	66 224	31,42
\$ investi /kW d'opération	743		
\$/μmol m⁻² s⁻¹	0,62		

Pour l'entrée électrique, les critères utilisés pour établir son coût sont illustrés dans le Tableau 81. La puissance requise pour l'entrée a été calculée à partir du nombre de lampes fois la puissance nominale de l'ampoule, plus 10 % pour le ballast et avec un ajout de 15 % comme facteur de sécurité.

Tableau 81 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour le coût de l'entrée électrique HPS

Puissance de l'entrée	\$/kW	\$/100 A
104.1 kW	100	3 470

Pour l'installation des luminaires et du matériel requis (câblage, etc.), les critères utilisés pour établir leur coût sont illustrés dans le Tableau 82. Le tarif horaire pour la main-d'œuvre est un composite constitué à 40 % du tarif³⁵ d'un électricien (93 \$/h) et de 60 % du tarif (23 \$/h) de la main-d'œuvre de maintenance fournie par le producteur.

Tableau 82 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique

Matériaux	Main-d'œuvre		
	\$/unité	h/unité	\$/h
70,00	3,00	50,60	151,80

Luminaires DEL

Pour les luminaires DEL, les caractéristiques techniques du Tableau 83 et du Tableau 84 correspondent à celles du montage expérimental et mesurées sur le site. Ces luminaires étaient dotés de lentilles pour favoriser l'uniformité de la distribution de la lumière étant donné qu'il fallait les installer pratiquement à la même hauteur que les luminaires HPS pour laisser le dégagement requis par le système d'arrosage automatique. Ceci a eu comme effet d'augmenter leur coût et de diminuer l'intensité lumineuse de 17 %. Conséquemment, la priorité de ce projet étant de démontrer le rendement agronomique, il ne reflètera pas nécessairement le véritable coût d'une installation aux DEL qui bénéficierait d'un aménagement différent (sans lentille, disposition spatiale des barres, intensité des barres et leur nombre).

Tableau 83 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Caractéristiques techniques DEL (Smart Bar)

Description	Valeur	Unité
Superficie éclairée	2 108	m ²
Nombre de luminaires (barres de 3,66 m)	360	#
Puissance moyenne mesurée par luminaire ^A	203	W
Densité surfacique de puissance	34,7	W/m ²
Densité surfacique des luminaires	5,9	m ² /luminaire
Intensité mesurée dans le PAR	46,1	μmol m ⁻² s ⁻¹
Ampérage de l'entrée	360	A
Voltage mesuré en distribution	236	V

^A Voir la section **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** à la page **Erreur ! Signet non défini.**

³⁵ CEMQ, Taux horaires recommandés pour un électricien de construction
https://www.cmeq.org/database/Image_usager/2/PDF_prives/2013_juillet_Taux_horaires.pdf

Tableau 84 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel DEL (360 luminaires de 203 W)

Composante	\$/unité	total \$	\$/m ²
Luminaire (barre de 3,66 m)	394	141 826	67,29
Unité d'alimentation ^A	194	69 854	33,14
Entrée électrique	24	8 946	4,03
Distribution, installation et câblage	47	16 741	7,94
Total	658	236 917	112,40
\$ investi/kW d'opération	3 242		
\$ /$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	2,44		

^A Un bloc d'alimentation par 8 barres = 45 blocs d'alimentation

Pour l'entrée électrique, les critères utilisés pour établir son coût sont illustrés dans le Tableau 85. La puissance requise pour l'entrée a été calculée à partir du nombre de lampes fois la puissance mesurée et avec un ajout de 15 % comme facteur de sécurité.

Tableau 85 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour le coût de l'entrée électrique HPS

Puissance de l'entrée	\$/kW	\$/100 A
85,0 kW	100	2 360

Pour l'installation des luminaires et du matériel requis (câblage, etc.), les critères utilisés pour établir leur coût sont illustrés dans le Tableau 86. Le tarif horaire pour la main-d'œuvre est le même composite que le HPS.

Tableau 86 : Les Serres Lefort - Critère technico-économique pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique DEL

Matériaux	Main-d'œuvre		
	\$/unité	h/unité	\$/h
12,60	0,67	50,60	33,90

3.5.2.2. Coût d'amortissement du système d'éclairage

Le coût d'amortissement annuel a été évalué en fonction de la durée de vie utile des composantes du système d'éclairage artificiel dans le contexte d'opération d'une serre. La durée de vie utile choisie a été établie à partir des fiches techniques, des objectifs de performance du système par rapport au rendement désiré de la culture, et selon l'expérience et le meilleur jugement des auteurs. La durée de vie utile est donc un élément pouvant fluctuer selon les exigences d'opérations que l'on se donne et selon la qualité d'opération et d'entretien pratiquée par l'entreprise. La durée de vie utile est l'élément déterminant le coût d'amortissement.

Pour le luminaire HPS la durée de vie utile retenue est de 15 ans. Le taux 6 % de la valeur initiale du luminaire pour ce qui est de l'entretien et des réparations ainsi que de la baisse de performance du réflecteur dans le temps, nous amène à choisir cette durée si on désire utiliser efficacement l'électricité requise pour le fonctionnement du luminaire qui représente plus des deux tiers de son coût d'utilisation.

Pour l'ampoule HPS, la vie utile est établie en fonction de vouloir garder une intensité lumineuse égale à 80 % du début de l'utilisation et considère un taux de défaillance de 20 % sur 16 000 heures (voir l'Annexe 6). Si un programme d'éclairage de 3 672 heures par an est utilisé, cela donnera environ 4,1 ans de vie utile. Pour les cultures avec des marges élevées, les ampoules sont souvent remplacées à l'intérieur d'un laps de temps plus court (moins de 9000 heures).

Pour le luminaire DEL (*TI SmartBar*, voir l'Annexe 7), la durée de vie est fonction du nombre d'heures d'éclairage par année. La durée de vie est 60 000 heures avec une efficacité d'au moins 70 %. Si un programme d'éclairage de 3 672 heures par an est utilisé, cela donnera 16,3 ans de vie utile.

Pour le bloc d'alimentation du luminaire DEL, ce type d'équipement fait rarement défaut. C'est pourquoi une durée de vie de 25 ans lui a été attribuée tout comme pour le se sous groupe de la distribution électrique.

Le Tableau 87 et le Tableau 88 établissent la valeur des composantes du coût d'amortissement reliées au système d'EA pour les luminaires HPS et DEL respectivement.

Tableau 87 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Investissement initial pour un système d'EA HPS et coût de l'amortissement par luminaire et par m² (108 luminaires de 750 W)

Composante	Coût initial par luminaire	Durée de vie utile	Coût moyen annuel d'amortissement	
	\$	ans	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire	250	15,0	16,67	0,855
Ampoule	45	4,1	11,02	0,565
Entrée électrique	96	30,0	3,20	0,164
Distribution, installation et câblage	222	25,0	8,87	0,455
Moyenne ou total	613	15,4	39,75	2,039

Tableau 88 : Les Serres Lefort - Serres 33 à 38 - Investissement initial pour un système d'EA DEL et coût de l'amortissement par luminaire et par m² (360 luminaires de 203 W)

Composante	Coût initial par luminaire	Durée de vie utile	Coût moyen annuel d'amortissement	
	\$	ans	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire (barre de 3,66 m)	394	16,3	24,11	4,118
Unité d'alimentation	194	25,0	7,76	1,326
Entrée électrique	24	30,0	0,79	0,134
Distribution, installation et câblage	47	25,0	1,86	0,318
Moyenne ou total	658	19,1	34,52	5,896

3.5.2.3. Coût de l'entretien et des réparations

Le coût moyen annuel pour l'entretien et les réparations a été calculé à partir de taux appliqué sur le coût initial des composantes de chaque système d'éclairage. Ce taux doit être considéré comme un taux moyen applicable pour la période de la vie utile de la composante. Évidemment, cela peut fluctuer fortement d'une année à l'autre étant donné qu'il s'agit d'une situation individuelle et non d'un parc d'éclairage tel celui d'une ville.

Les montants découlant de ce calcul devraient couvrir les frais de main-d'œuvre, le matériel et les équipements pouvant être requis afin de maintenir le système d'éclairage pleinement fonctionnel et performant.

Les taux reliés aux deux types de luminaire furent établis à partir des informations provenant de :

- des fiches techniques des produits (durée de vie utile, taux de défaillance et autres)
- de revue de littérature ^{36 37}
- de l'expérience d'utilisateurs et des auteurs de ce rapport

Le Tableau 89 et le Tableau 90 présentent le coût d'entretien et des réparations pour les luminaires HPS et DEL.

Tableau 89 : Les Serres Lefort - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire HPS et par m²

Composante	Coût initial	Taux ^A	Coût moyen annuel Entretien et réparation	
	\$/luminaire	%	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire	250	6,0	15,00	0,769
Ampoule ^B	45	5,2	2,30	0,118
Entrée électrique	96	1,0	0,96	0,049
Distribution, installation et câblage	222	2,0	4,44	0,227
Moyenne ou total	613	3,7	22,69	1,164

^A Le taux s'applique sur le coût initial.

^B Calculer à partir d'un taux de défaillance de 20 % à 16 000 h et un coût de main-d'œuvre de 5,00 \$ par remplacement d'ampoule.

³⁶ Building Maintenance and Repair Data for Life-Cycle Cost Analyses: Architectural Systems. US Army Corps of Engineer Research Laboratory 1991 <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a239828.pdf>

³⁷ Los Angeles Saves Millions With LED Street Light Deployment <http://www.forbes.com/sites/justingerdes/2013/01/25/los-angeles-saves-millions-with-led-street-light-deployment/>

**Tableau 90 : Les Serres Lefort - Coût de l'entretien et des réparations
par luminaire DEL et par m²**

Composante	Coût initial	Taux ^A	Coût moyen annuel Entretien et réparation	
	\$/luminaire	%	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire (barre de 3,66 m)	394	0,5	1,97	0,336
Unité d'alimentation	194	0,5	0,97	0,166
Entrée électrique	24	1,0	0,24	0,040
Distribution, installation et câblage	47	2,0	0,93	0,159
Moyenne ou total	658	0,6	4,11	0,701

^A Le taux s'applique sur le coût initial.

3.5.2.4. Coûts d'utilisation des deux systèmes d'éclairage de photosynthèse

Le Tableau 91 et le Tableau 92 résument les coûts annuels d'utilisation pour chacun des systèmes d'éclairage tels qu'utilisés lors des essais avec leurs caractéristiques techniques pour la consommation électrique et pour l'émission de la lumière telles que mesurées. Les données obtenues dans ces deux tableaux proviennent toutes des tableaux précédents de cette section.

Le coût pour la consommation d'électricité a été calculé comme suit :

- a) Pour le luminaire HPS = [3 672 heures d'utilisation fois la puissance mesurée par luminaire 771 Watts (annexe XX) ÷ 1000 Watts/kWh multipliés par 0,07 \$/kWh].
- b) Pour le luminaire DEL = [3 672 heures d'utilisation fois la puissance mesurée par luminaire 203 Watts (annexe XX) ÷ 1000 Watts/ kWh] multiplié par 0,07 \$/kWh.

Pour le HPS, la puissance mesurée a été de 771 Watts par luminaire alors que l'ampoule a une puissance nominale de 750 W. Cette mesure est anormalement basse, mais ne devrait pas porter à conséquence de façon significative puisque l'intensité mesurée de l'émission de photons devrait être diminuée d'autant. Avec un ballast magnétique, nous aurions dû mesurer environ 840 à 850 Watts. Les luminaires ont été installés en 2009, ils étaient donc à leur 5^{ème} année d'utilisation, environ 9 000 heures.

Il est à remarquer que pour le luminaire DEL, les coûts d'intérêt sur le capital et de l'amortissement représentent 49 % du coût total d'utilisation vs 21 % pour le HPS. Le montant de la somme des amortissements et du coût de l'utilisation du capital correspond approximativement au montant pour le paiement d'un emprunt de 10 ans sur 70 % du capital avec un taux d'intérêt de 5,5 %.

Tableau 91 : Les Serres Lefort - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage HPS ^A

Composante	\$/luminaire	\$/m ²	\$/kmol/m ²	%
Électricité	198,18	10,16	15,13	71
Entretien et réparation	22,69	1,16	1,73	8
Amortissement	39,75	2,04	3,04	14
Sous total avant intérêts	260,62	13,37	19,90	93
Coût d'intérêt sur capital	18,21	0,93	1,30	7
Coût total d'utilisation	278,83	14,30	21,29	100

^A Pour une utilisation de 3 672 heures par an. Une intensité de 50,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cela donne un total de 0,672 kmol par année et par m²

Tableau 92 : Les Serres Lefort - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage DEL avec lentille ^A

Composante	\$/luminaire	\$/m ²	\$/kmol/m ²	%
Électricité	52,18	8,91	14,62	47
Entretien et réparation	4,11	0,70	1,15	4
Amortissement	34,52	5,90	9,67	31
Sous-total avant intérêts	90,80	15,51	25,45	82
Coût d'intérêt sur capital	19,82	3,39	5,56	18
Coût total d'utilisation	110,63	18,89	31,00	100

^A Pour une utilisation de 3 672 heures par an. Une intensité de 46,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cela donne un total de 0,609 kmol par année et par m²

Sur une base de \$/m², le Tableau 93 juxtapose le coût d'utilisation des deux systèmes d'éclairage tels que mesurés durant les essais et ajoute un luminaire DEL sans lentille; les comparaisons en sont ainsi facilitées. Les valeurs affichées sont pour 3 672 heures d'éclairage par an avec des intensités mesurées de 50,8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le HPS, de 46,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le DEL avec lentille et de 55,5 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le DEL sans lentille

Tableau 93 : Les Serres Lefort - Comparaison du coût annuel d'utilisation par m² HPS vs DEL avec lentille vs DEL sans lentille ^A

Composante	HPS		DEL (avec lentille)		DEL (sans lentille)	
	\$/m ²	%	\$/m ²	%	\$/m ²	%
Électricité	10,16	71	8,91	47	8,91	52
Entretien et réparation	1,16	8	0,70	4	0,61	4
Amortissement	2,04	14	5,90	31	4,77	28
Sous-total avant intérêts	13,37	93	15,51	82	14,29	83
Coût d'intérêt sur capital	0,93	7	3,39	18	2,84	17
Coût total d'utilisation	14,30	100	18,89	100	17,13	100
Coût par kmol par m ²	21,29		31,00		23,32	
Coût par kmol par m ² avant intérêts	19,90		25,45		19,46	

^A Pour une utilisation de 3 672 heures par an. Total du flux lumineux dans le PAR : 0,672 kmol/m²/an pour le HPS, 0,609 kmol/m²/an pour le DEL avec lentille et 0,734 kmol/m²/an pour le DEL sans lentille.

Dans le Tableau 93, le coût par kmol doit être cependant examiné avec une certaine circonspection puisque les luminaires DEL émettent dans un spectre étroit et spécifique de longueurs d'onde avec lesquelles la photosynthèse s'effectue théoriquement plus efficacement (voir l'Annexe 6 et l'Annexe 25). Donc pour une même quantité de lumière émise dans le PAR et pour des mêmes conditions de culture, ceci pourrait donner théoriquement un avantage d'un minimum de 10 % dans la croissance des plants ou de leur productivité.

Un autre point à considérer ici, est que la configuration du montage pour l'éclairage DEL avait surtout un objectif expérimental en visant à garder le plus possible les photons à l'intérieur de la parcelle et obtenir une distribution uniforme de l'intensité lumineuse dans cette parcelle. Cette configuration serait différente si elle avait été faite pour éclairer au complet la serre.

La dernière section verticale du Tableau 93 affiche les coûts de l'éclairage d'un luminaire DEL sans lentille en tenant compte de la modification d'intensité que cela apporte (système d'éclairage avec luminaire DEL normalisé). La valeur des éléments composant le coût d'utilisation a été ajustée pour tenir compte que le coût du luminaire DEL sans lentille a été réduit de 108 \$ pour une valeur de 286 \$ par unité de 3,66 mètres (12 pi) sans le bloc d'alimentation.

Cela a comme effet de diminuer le coût d'intérêts sur le capital et de l'amortissement à 45 % (28 % + 17 %) du coût total d'utilisation pour le luminaire DEL sans lentille et ainsi d'obtenir un prix de revient par kmol, avant la charge d'intérêts sur le capital, très semblable à celui du HPS. À partir de ce point, le coût par kmol sera surtout influencé par le tarif électrique.

Pour le luminaire DEL sans lentille du Tableau 93, il faut tenir également compte que, dans ces conditions, le luminaire DEL produira 10 % en plus de photons dans le PAR que le HPS; cela augmentera la performance agronomique étant donné la qualité supérieure de sa lumière. L'effet pourrait être d'une journée (5 %) de différence dans la durée de culture en faveur du DEL; cependant, cela n'a pas été tenu en compte dans l'évaluation économique HPS vs DEL, étant donnée la difficulté sur le plan expérimental de démontrer cette différence (niveau de précision permis par les conditions dans lesquels se déroulaient les essais et le dispositif expérimental).

3.5.2.5. Effet sur la rentabilité de l'éclairage artificiel par l'évaluation de la marge contributive

Critères technico-économiques

Pour tenter de mesurer la rentabilité de l'éclairage artificiel de façon objective, il a fallu normaliser les installations et le programme de culture afin de pouvoir évaluer la marge contributive qu'apporterait chacun des systèmes de culture. Les éléments modifiés sont énumérés ci-dessous.

- a) La durée de fonctionnement de l'éclairage artificiel est de 226 jours par an.
- b) Une chambre de semis est utilisée pour les 5 à 6 premiers jours afin d'optimiser l'usage et la rentabilité de l'éclairage artificiel dans la serre. Cela donnerait une durée moyenne de rotation d'environ 24 jours avec l'EA et de 31 jours sans EA lors de la période d'éclairage. L'éclairage artificiel donne dans ce modèle une amélioration du taux de croissance de 25 à 30 %, ce qui est du même ordre de ce qui a été obtenu dans le bilan agronomique.
- c) Les installations du système d'éclairage HPS et du DEL ont été ajustées comme s'ils fournissaient le même nombre de moles/m²/jour (intensité moyenne de la vie utile de 51,3 $\mu\text{mol/m}^2/\text{sec}$, représentant 92 % de la radiation d'un luminaire neuf et propre). Les luminaires DEL sont sans lentille.
- d) Les ratios d'efficacité et de consommation énergétique de l'éclairage qui sont ressortis durant les essais ont été tenus en compte.

Le Tableau 94 énumère et décrit les valeurs des critères techniques qui ont servi à l'élaboration du modèle pour l'évaluation de la marge brute contributive de chaque mode de culture.

Tableau 94 : Les Serres Lefort - Critères techniques spécifiques aux programmes de culture pour des plantules de laitues et servant à établir une marge brute

Critère	HPS	DEL ^A	Sans EA
Nombre de jours par rotation sans les 6 jours en chambre de semis	24	24	31
# de plateaux/m ²	5,9	5,9	5,9
Consigne de chauffe jour °C	13,0	13,0	13,0
Consigne de chauffe nuit °C	12,0	12,0	12,0
Besoin de chauffe kWh/m ² avec un ratio de 10,76 kWh/m ² /100DJc	335	335	335
Période avec éclairage	1 sept. au 15 avril		
# de jours avec éclairage	226	226	
Moyenne d'heures éclairées h/j	16,25	16,25	
EA moyenne dans le PAR (mol m ⁻² j ⁻¹)	3,0	3,0	
Heures d'éclairage par an	3 672	3 672	
Énergie pour l'éclairage kWh/m ²	155,2	127,3	
Apport ^B de chauffe par EA kWh/m ²	61,8	50,9	
Coût du kWh de chauffe \$/kWh	0,07	0,07	0,07
Coût du kWh d'EA	0,07	0,07	

^A Pour l'éclairage avec DEL, le luminaire est sans lentille avec une puissance ajustée pour donner la même intensité lumineuse qu'avec les luminaires HPS.

^B Le taux d'utilisation de l'énergie des lampes en chauffe utile, tient compte des conditions et des périodes d'utilisation (avec ou sans écrans thermiques et autres conditions d'opération). Le taux est de 39,8 % pour le HPS et de 40,0 % pour le DEL.

Marge brute générée par m²

Le tableau x17 établit une marge brute par mètre carré et par rotation avec des valeurs pour les extrants et les intrants pouvant être considérées comme représentatives du type d'entreprise dans laquelle les essais ont eu lieu.

L'examen de ce tableau permet de constater que la marge brute générée sur une base annuelle est tributaire du taux gain agronomique (rotation ou du nombre de jours requis pour réaliser une culture), du coût de l'électricité et en grande partie du prix qu'on obtient pour ses produits (revenus).

Cette marge brute par rotation permet d'obtenir une estimation de la marge brute annuelle générée lors de la période de fonctionnement de l'éclairage artificiel pour chaque mode d'éclairage. La différence entre ces marges brutes annuelles servira à calculer la période de récupération de l'investissement (PRI) pour les deux modes d'éclairage artificiel (tableau xx19).

Pour la période éclairée, l'utilisation de l'éclairage HPS permet d'accroître la marge brute générée par m² de 25,92 \$ (118,57 \$ moins 92.64 \$, ligne F tableau x18), soit 28,0 % en plus par rapport au témoin, tandis que pour l'utilisation de l'éclairage DEL, cet accroissement de la marge brute est de 28,14 \$ par m² soit 30,4 % en plus par rapport au témoin.

Tableau 95 : Les Serres Lefort - Évaluation de la marge brute en \$/m² et par rotation pour la production de plantules de laitue selon 3 scénarios d'éclairage artificiel

ligne	Item	HPS	DEL	Sans EA
A	Revenus	29,59	29,59	29,59
	Frais directs			
	Matériel	10,30	10,30	10,30
	Main d'œuvre	3,07	3,07	3,07
	Chambre de semis	0,30	0,30	0,30
	Éclairage artificiel	1,15	0,95	
	Chaleur utile de l'EA créditée	-0,46	-0,38	
	Chauffage	2,49	2,49	3,21
	Entretien & réparations EA ^A	0,12	0,06	
B	Total des frais directs	16,97	16,79	16,88
C	Marge brute par rotation (A-B)	12,62	12,80	12,71
	Marge brute en % (B÷A X100)	42,6%	43,3%	42,9%
D	Nombre de jours par rotation en dehors chambre de semis	24	24	31
E	Marge brute \$/m ² /jour (C/D)	0,526	0,533	0,410
F	Marge brute pour la période éclairée (226 jours) \$/m²	118,80	120,55	92,64
	Différence par rapport au témoin	28,2 %	30,1 %	

^A Coûts basés sur les valeurs du Tableau 89 et du Tableau 90 ajusté pour un luminaire sans lentille calculé au pro rata du nombre d'heures éclairées par rotation.

Période de récupération de l'investissement

Cette modélisation indique (voir le Tableau 96) que, pour cette culture, l'utilisation de l'éclairage artificiel avec HPS jouit d'une période de récupération de l'investissement (PRI) très rapide de 1,2 ans et que la PRI pour l'éclairage DEL est plus lente de 2,1 ans. Une PRI de 3,3 années pour l'utilisation de l'éclairage artificiel avec les luminaires DEL reste toutefois adéquate sur le plan du rendement financier.

Tableau 96 : Les Serres Lefort - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chaque mode d'éclairage artificiel utilisée pour la production de plantules de laitue

Item	HPS	DEL ^A
Gain en marge brute \$ /m ² /an	26,15	27,90
Investissement \$ /m ²	31,42	93,95
PRI en années	1,20	3,37

^A L'investissement par m² pour le luminaire DEL et provenant du Tableau 84 a été réduit de 18,45 \$ (108 \$ par luminaire) puisqu'il s'agit d'un luminaire sans lentille.

3.5.3. Serres Ovation

3.5.3.1. Coût d'établissement de l'éclairage de photosynthèse

Luminaires HPS

Pour les luminaires HPS, les caractéristiques techniques du Tableau 97 et du Tableau 98 correspondent à celles du site où se sont déroulés les essais.

**Tableau 97 : Serres Ovation - Complexe 2
Caractéristiques techniques HPS**

Description	Valeur	Unité
Superficie éclairée	2 788	m ²
Nombre de luminaires	472	#
Puissance nominale de l'ampoule	600	W
Puissance mesurée moyenne par luminaire ^A	674	W
Densité surfacique de puissance nominale ^B	101,6	W/m ²
Densité surfacique des luminaires	5,9	m ² /luminaire
Intensité théorique dans le PAR ^C	187,9	µmol m ⁻² s ⁻¹
Ampérage de l'entrée	1 570	A
Voltage en distribution (mesuré)	233	V

^A Voir la section 3.4.2 à la page 126.

^B Le montage expérimental avait 101,5 W/m²; cela dépend de la disposition des luminaires et du montage de la serre (demi rang). Le nombre de luminaires a été ajusté pour donner la même densité surfacique de puissance nominale.

^C Voir le Tableau 36 : Serres Ovation - Parcelle HPS - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire ^A HPS avec l'intensité mesurée

**Tableau 98 : Serres Ovation - Complexe 2
Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel HPS
(480 luminaires de 600 W)**

Composante	\$/unité	total \$	\$/m ²
Luminaire	210	99 120	35,55
Ampoule	40	18 880	6,77
Entrée électrique	78	36,561	13,12
Distribution, installation et câblage	201	94654	33,95
Total	528	249 235	89,39
\$ investi /kW d'opération	783		
\$/µmol m⁻² s⁻¹	0,48		

Pour l'entrée électrique, les critères utilisés pour établir son coût sont illustrés dans le Tableau 99. La puissance requise pour l'entrée a été calculée à partir du nombre de lampes fois la puissance mesurée du luminaire avec un ajout de 15 % comme facteur de sécurité.

Tableau 99 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour le coût de l'entrée électrique HPS

Puissance de l'entrée	\$/kW	\$/100 A
366 kW	100	2 330

Pour l'installation des luminaires et du matériel requis (câblage, etc.), les critères utilisés pour établir leur coût sont illustrés dans le Tableau 100. Le tarif horaire pour la main-d'œuvre est un composite constitué à 40 % du tarif ³⁸ d'un électricien (93 \$/h) et de 60 % du tarif (23 \$/h) de la main-d'œuvre de maintenance fournie par le producteur.

Tableau 100 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique

Matériaux \$/unité	Main-d'œuvre		
	h/unité	\$/h	\$/unité
48,74	3,00	50,60	151,80

Luminaires DEL

Pour les luminaires DEL, les caractéristiques techniques du Tableau 101 et du Tableau 102 correspondent à celles du montage expérimental et mesurées sur le site. Ces luminaires étaient dotés de lentilles pour favoriser la quantité de lumière pénétrant entre les deux rangs de plants étant donné qu'il était prévu que la hauteur des plants serait variable à cause des pratiques de l'entreprise dans l'abaissement des plants. Il fallait que les luminaires DEL soient approximativement à la même distance de l'entrait que les luminaires HPS (voir le schéma à l'Annexe 3). Ceci a eu comme effet d'augmenter leur coût et de diminuer l'intensité lumineuse de 15 % à 17 %. Conséquemment, la priorité de ce projet étant de démontrer le rendement agronomique par rapport à l'apport lumineux de l'EA, il ne reflètera pas nécessairement le véritable coût d'une installation au DEL qui bénéficierait d'un aménagement différent (sans lentille, disposition spatiale des barres, intensité des barres et leur nombre) et à la même intensité que le luminaire HPS dans ce montage expérimental.

³⁸ CEMQ, Taux horaires recommandés pour un électricien de construction
https://www.cmeq.org/database/Image_usager/2/PDF_prives/2013_juillet_Taux_horaires.pdf

**Tableau 101 : Serres Ovation - Complexe 2
Caractéristiques techniques DEL (Smart Bar)**

Description	Valeur	Unité
Superficie éclairée	2 788	m ²
Nombre de luminaires (barres de 2,44 m)	710	#
Puissance moyenne mesurée par luminaire ^A	234	W
Densité surfacique de puissance ^B	59,6	W/m ²
Densité surfacique des luminaires	3,9	m ² /luminaire
Intensité théorique dans le PAR ^C	46,1	μmol m ⁻² s ⁻¹
Ampérage de l'entrée	360	A
Voltage mesuré en distribution	236	V

^A Voir la section 3.4.2 à la page 126.

^B Le montage expérimental avait 59,4 W/m²; cela dépend de la disposition des luminaires et du montage de la serre (demi-rang). Le nombre de luminaires a été ajusté pour donner la même densité surfacique de puissance.

^C Voir le Tableau 35 : Serres Ovation - Parcelle DEL - Complexe 1 - Conciliation du flux original d'un luminaire DEL avec l'intensité mesurée

Tableau 102 : Serres Ovation - Complexe 2 - Estimation du coût pour l'établissement de l'éclairage artificiel DEL ^A (710 luminaires de 234 W)

Composante	\$/unité	total \$	\$/m ²
Luminaire (barre de 2,44 m)	446	316 816	113,63
Unité d'alimentation	220	156 044	57,97
Entrée électrique	27	19 116	6,86
Distribution, installation et câblage	47	33 329	11,95
Total	740	525 305	188,41
\$ investi /kW d'opération	3 162		
\$/μmol m⁻² s⁻¹	1,97		

^A Un bloc d'alimentation par 8 barres = 89 blocs d'alimentation

Pour l'entrée électrique, les critères utilisés pour établir son coût sont illustrés dans le Tableau 103. La puissance requise pour l'entrée a été calculée à partir du nombre de lampes fois la puissance mesurée et avec un ajout de 15 % comme facteur de sécurité.

Tableau 103 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour le coût de l'entrée électrique HPS

Puissance de l'entrée	\$/kW	\$/100 A
191 kW	100	2 360

Pour l'installation des luminaires et du matériel requis (câblage, etc.), les critères utilisés pour établir leur coût sont illustrés dans le Tableau 104. Le tarif horaire pour la main-d'œuvre est le même composite que le HPS.

Tableau 104 : Serres Ovation - Critères technicoéconomiques pour les coûts de l'installation des luminaires et de l'entrée électrique DEL

Matériaux	Main-d'œuvre			
	\$/unité	h/unité	\$/h	\$/unité
13,04	0,67	50,60	33,90	

3.5.3.2. Coût d'amortissement du système d'éclairage

Le coût d'amortissement annuel a été évalué en fonction de la durée de vie utile des composantes du système d'éclairage artificiel dans le contexte d'opération d'une serre. La durée de vie utile choisie a été établie à partir des fiches techniques, des objectifs de performance du système par rapport au rendement désiré de la culture, et selon l'expérience et le meilleur jugement des auteurs. La durée de vie utile est donc un élément pouvant fluctuer selon les exigences d'opérations que l'on se donne et selon la qualité d'opération et d'entretien pratiquée par l'entreprise. La durée de vie utile est l'élément déterminant le coût d'amortissement.

Pour le luminaire HPS la durée de vie utile retenue est de 15 ans. Le taux 6 % de la valeur initiale du luminaire pour ce qui est de l'entretien et des réparations ainsi que de la baisse de performance du réflecteur dans le temps, nous amène à choisir cette durée si on désire utiliser efficacement l'électricité requise pour le fonctionnement du luminaire qui représente plus des deux tiers de son coût d'utilisation.

Pour l'ampoule HPS, la vie utile est établie en fonction de vouloir garder une intensité lumineuse égale à 80 % du début de l'utilisation et considère un taux de défaillance de 20 % sur 16 000 heures (voir l'Annexe 6). La vie utile a été établie à 15 000 heures dans cette modélisation soit 4,2 ans ($16\ 000\ h \div 3\ 530\ h/an$). Pour les cultures avec des marges élevées, les ampoules sont souvent remplacées à l'intérieur d'un laps de temps plus court (moins de 9000 heures).

Le nombre d'heures utilisées avec le programme d'EA de serres Ovation donnerait de 3 530 heures par année pour une production en contresaison avec 263 jours d'EA; c'est cette condition qui sera utilisée dans les calculs du Tableau 105 au Tableau 111. Le scénario pour l'analyse de la rentabilité utilisera, quant à lui, un modèle de production débutant au printemps avec 236 jours d'EA et 3 135 heures (voir le Tableau 113 et le Tableau 114).

Pour le luminaire DEL (TI SmartBar, voir l'Annexe 7 : Caractéristiques de l'éclairage DEL chez Les Serres Lefort et Serres Ovation), la durée de vie est fonction du nombre d'heures d'éclairage par année. La durée de vie est 60 000 heures avec une efficacité d'au moins 70 % en fin de vie utile. Le nombre d'heures utilisées avec le programme d'EA de serres Ovation est de 3 530 heures; on obtient ainsi une durée de vie utile de 17 années ($60\ 000\ h \div 3\ 530\ h/an$).

Pour le bloc d'alimentation du luminaire DEL, ce type d'équipement fait rarement défaut. C'est pourquoi une durée de vie de 25 ans lui a été attribuée tout comme pour le se sous groupe de la distribution électrique.

Le Tableau 105 et le Tableau 106 établissent la valeur du coût d'amortissement pour les composantes reliées au système d'éclairage HPS et DEL respectivement avec les mêmes caractéristiques qui ont prévalu lors des essais (luminaires et installations).

Tableau 105 : Serres Ovation - Complexe 2 - Investissement initial pour un système d'éclairage artificiel HPS et coût de l'amortissement par luminaire et par m² (472 luminaires de 600 W)

Composante	Coût initial par luminaire	Durée de vie utile	Coût moyen annuel d'amortissement	
	\$		ans	\$/luminaire
Luminaire	210	15	14,00	2,370
Ampoule ^A	40	4,2	9,41	1,594
Entrée électrique	78	30	2,60	0,440
Distribution, installation et câblage	201	25	8,02	1,358
Moyenne ou total	528	15,5	34,03	5,762

^A Durée de vie utile de 15 000 heures pour l'ampoule.

Tableau 106 : Serres Ovation - Complexe 2 - Investissement initial pour un système d'éclairage artificiel DEL et coût de l'amortissement par luminaire et par m² (710 luminaires de 234 W)

Composante	Coût initial par luminaire	Durée de vie utile	Coût moyen annuel d'amortissement	
	\$		ans	\$/luminaire
Luminaire (barre de 2,44 m & 234 W) ^A	446	17	26,25	6,685
Unité d'alimentation	220	25	8,79	2,239
Entrée électrique	27	30	0,90	0,229
Distribution, installation et câblage	47	25	1,88	0,478
Moyenne ou total	740	19,6	37,82	9,631

^A Durée de vie utile de 60 000 heures pour le luminaire.

3.5.3.3. Coût de l'entretien et des réparations

Le coût moyen annuel pour l'entretien et les réparations a été calculé à partir de taux appliqué sur le coût initial des composantes de chaque système d'éclairage. Ce taux doit être considéré comme un taux moyen applicable pour la période de la vie utile de la composante. Évidemment, cela peut fluctuer fortement d'une année à l'autre étant donné qu'il s'agit d'une situation individuelle et non d'un parc d'éclairage tel celui d'une ville.

Les montants découlant de ce calcul devraient couvrir les frais de main-d'œuvre, le matériel et les équipements pouvant être requis afin de maintenir le système d'éclairage pleinement fonctionnel et performant.

Les taux reliés aux deux types de luminaire furent établis à partir des informations provenant de :

- des fiches techniques des produits (durée de vie utile, taux de défaillance et autres)
- de revue de littérature ^{39 40}
- de l'expérience d'utilisateurs et des auteurs de ce rapport

Le Tableau 107 et le Tableau 108 ci-dessous établissent la valeur des coûts d'entretien et de réparations pour les composantes reliées au système d'éclairage HPS et DEL respectivement et possédant les mêmes caractéristiques que lors des essais (luminaires et installations).

Tableau 107 : Serres Ovation - Complexe 2 - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire HPS et par m² (472 luminaires de 600 W)

Composante	Coût initial	Taux ^A	Coût moyen annuel Entretien et réparation	
	\$/luminaire	%	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire	210	6,0	12,60	2,133
Ampoule ^B	40	5,0	1,99	0,336
Entrée électrique	78	1,0	0,78	0,132
Distribution, installation et câblage	201	2,0	4,01	0,227
Moyenne ou total	529	3,7	19,38	1,142

^A Le taux s'applique sur le coût initial.

^B Calculé à partir d'un taux de défaillance de 20 % à 16 000 h et un coût de main-d'œuvre de 5,00 \$ par remplacement d'ampoule et 3 530 heures d'utilisation par an.

Tableau 108 : Serres Ovation - Complexe 2 - Coût de l'entretien et des réparations par luminaire DEL et par m² (710 luminaires de 234 W)

Composante	Coût initial	Taux ^A	Coût moyen annuel Entretien et réparation	
	\$/luminaire	%	\$/luminaire	\$/m ²
Luminaire	446	0,5	2,23	0,568
Unité d'alimentation	220	0,5	1,10	0,280
Entrée électrique	27	1,0	0,27	0,069
Distribution, installation et câblage	47	2,0	0,94	0,239
Moyenne ou total	740	0,6	4,54	1,156

^A Le taux s'applique sur le coût initial.

³⁹ Building Maintenance and Repair Data for Life-Cycle Cost Analyses: Architectural Systems. US Army Corps of Engineer Research Laboratory 1991 <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a239828.pdf>

⁴⁰ Los Angeles Saves Millions With LED Street Light Deployment <http://www.forbes.com/sites/justingerdes/2013/01/25/los-angeles-saves-millions-with-led-street-light-deployment/>

3.5.3.4. Coûts d'utilisation des deux systèmes d'éclairage de photosynthèse

Le Tableau 109 et le Tableau 110 résument les coûts annuels d'utilisation pour chacun des systèmes d'éclairage tels qu'utilisés lors des essais avec leurs caractéristiques techniques pour la consommation électrique et pour l'émission de la lumière telles que mesurées (voir le Tableau 97 et le Tableau 98). Les données obtenues dans ces deux tableaux proviennent toutes des tableaux précédents (Tableau 97 au Tableau 108).

Le coût pour la consommation d'électricité a été calculé comme suit :

- a) Pour le luminaire HPS = [3 530 heures d'utilisation fois la puissance mesurée par luminaire 674 Watts (annexe XX) ÷ 1000 Watts/kWh multipliés par 0,07 \$/kWh].
- b) Pour le luminaire DEL = [3 530 heures d'utilisation fois la puissance mesurée par luminaire 234 Watts (annexe XX) ÷ 1000 Watts/ kWh] multiplié par 0,07 \$/kWh.

Pour le HPS, la puissance mesurée a été de 674 Watts par luminaire alors que l'ampoule a une puissance nominale de 600 W. Cette mesure est normale et représente un ajout de 12,3 % à la puissance nominale de l'ampoule; ce taux est normal pour un luminaire HPS utilisant un ballast magnétique. Dix-huit (18) des luminaires étaient neufs et six (6) provenaient du CIDES avec environ 4 000 heures d'utilisation. Cependant, toutes les ampoules étaient neuves.

Il est à remarquer que pour le luminaire DEL, les coûts d'intérêt sur le capital et de l'amortissement représentent 49 % du coût total d'utilisation versus 21 % pour le HPS. Le montant de la somme des amortissements et du coût de l'utilisation du capital correspond approximativement au montant pour le paiement d'un emprunt de 10 ans sur 70 % du capital investi avec un taux d'intérêt de 5,5 %.

Tableau 109 : Serres Ovation - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage HPS ^A

Composante	\$/luminaire	\$/m ²	\$/kmol/m ²	%
Électricité	166,55	28,19	11,81	71
Entretien et réparation	19,38	3,28	1,37	8
Amortissement	34,03	5,73	2,41	14
Sous total avant intérêts	219,96	37,24	15,59	93
Coût d'intérêts sur capital	15,69	2,66	1,11	7
Coût total d'utilisation	235,65	39,89	16,71	100

^A Pour une utilisation de 3 530 heures par an. Une intensité de 187,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cela donne un total de 2,388 kmol par année et par m².

Tableau 110 : Serres Ovation - Coût annuel d'utilisation de l'éclairage DEL avec lentille ^A

Composante	\$/luminaire	\$/m ²	\$/kmol/m ²	%
Électricité	57,82	14,72	12,11	47
Entretien et réparation	4,54	1,16	0,95	4
Amortissement	37,82	9,63	7,92	31
Sous-total avant intérêts	100,18	25,51	20,98	82
Coût d'intérêts sur capital	22,33	5,69	4,68	18
Coût total d'utilisation	122,51	31,20	25,65	100

^A Pour une utilisation de 3 530 heures par an. Une intensité de 95,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ cela donne un total de 1,216 kmol par année et par m²

Le Tableau 111 juxtapose le coût d'utilisation des deux systèmes d'éclairage sur une base de \$/m² tels que mesurés durant les essais; leur comparaison en est ainsi facilitée. Les valeurs affichées sont pour 3 530 heures d'éclairage par an avec des intensités théoriques de 187,9 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le HPS, de 95,7 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le DEL avec lentille et de 113,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ pour le DEL sans lentille.

Pour le luminaire DEL sans lentille, la valeur des éléments composant le coût d'utilisation a été ajustée pour tenir compte de la suppression de la lentille, mais dont la puissance électrique est restée la même. L'élimination des lentilles a réduit le coût d'un luminaire de 150 \$, amenant son prix incluant l'unité d'alimentation à 516 \$. Son flux lumineux a aussi été corrigé afin d'obtenir le coût par kmol. À partir de ce point, le coût par kmol sera surtout influencé par le tarif électrique.

Tableau 111 : Serres Ovation - Comparaison du coût annuel d'utilisation ^A par m² HPS vs DEL avec lentille et sans lentille

Composante	HPS		DEL (avec lentille)		DEL (sans lentille)	
	\$/m ²	%	\$/m ²	%	\$/m ²	%
Électricité	28,19	71	14,72	47	14,72	53
Entretien et réparation	3,28	8	1,16	4	0,96	3
Amortissement	5,76	14	9,63	31	7,38	27
Sous-total avant intérêts	37,24	93	25,51	82	23,07	82
Coût d'intérêts sur capital	2,66	7	5,69	18	4,55	16
Coût total d'utilisation	39,89	100	31,20	100	27,62	100
Coût par kmol par m²	16,71		25,65		19,19	
Coût par kmol par m² avant intérêts	15,59		20,98		16,03	

^A Pour une utilisation de 3 530 heures par an. Total du flux lumineux dans le PAR : 2,388 kmol/m²/an pour le HPS; 1,216 kmol/m²/an pour le DEL avec lentille et 1,439 kmol/m²/an pour le DEL sans lentille.

Dans le Tableau 111, le coût par kmol doit être cependant examiné avec une certaine circonspection parce que la différence d'apport lumineux entre le luminaire HPS et le luminaire DEL est importante, environ 43 %. L'utilisation d'une lentille pour concentrer la lumière a réduit de 15 à 17% l'apport du luminaire DEL. C'est la contrainte budgétaire et la taille des parcelles expérimentales (4 X 20 tiges) afin de pouvoir mesurer adéquatement les différences de production entre les 3 parcelles qui ont créé cette situation ce qui n'a toutefois pas empêché d'évaluer correctement l'effet de l'EA (voir la section 3.3.2 à la page 107 : bilan agronomique). On peut constater dans le Tableau 111 que, même avec un luminaire ayant

40 % en moins d'intensité par rapport au HPS le luminaire DEL sans lentille, le coût par kmol par m² avant intérêts est très semblable avec 16,03\$ pour le DEL vs 15,59\$ pour le HPS.

Un autre point à considérer ici, est que la configuration du montage pour l'éclairage DEL avait surtout un objectif expérimental en visant à garder le plus possible les photons entre les deux rangs de plants pour une hauteur de plants prévue plus basse que ce qui s'est avéré durant la période d'essai. À la « lumière » de cette expérience, l'utilisation de lentilles n'était pas requise et cet investissement aurait été plus profitable ou mieux utilisé en augmentant la puissance du luminaire DEL.

3.5.3.5. Effet sur la rentabilité de l'éclairage artificiel par l'évaluation de la marge contributive

Critères technicoéconomiques

Pour mesurer la rentabilité de l'éclairage artificiel de façon objective, il a fallu normaliser les installations et le programme de culture afin de pouvoir évaluer de façon objective la marge contributive qu'apporterait chacun des systèmes de culture. Les éléments modifiés sont énumérés ci-dessous.

- a) La durée de fonctionnement de l'éclairage artificiel est de 236 jours par an. La fin de l'utilisation de l'éclairage artificiel est le 7 décembre, et la fin de culture est le 14 décembre. La plantation s'effectue le 3 janvier avec l'éclairage artificiel. Ceci pourrait correspondre approximativement au programme de culture du complexe 2 de Serres Ovation.
- b) Le nombre d'heures éclairées découle du calendrier de culture et du programme d'éclairage appliqué lors des essais du printemps 2013 (voir le Tableau 19 : Serres Ovation - Calendrier de culture et des traitements); ce programme donnerait environ 3 135 heures d'EA et une date d'entrée en production durant la dernière semaine de février.
- c) L'éclairage artificiel donne dans ce modèle 1,1 kg/m² pour 100 mol/m² fournies (1,0 kg/m² par 91 moles/m² d'EA). Ce ratio correspond aux résultats obtenus chez Serres Ovation et pour leurs conditions de culture.
- d) Les installations du système d'éclairage HPS et du DEL ont été ajustées comme s'ils fournissaient environ le même nombre de moles/m²/jour (intensité moyenne de la vie utile du luminaire de 172,9 et 170,2 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ pour respectivement les luminaires HPS et DEL et représentant 92 % de la radiation d'un luminaire neuf et propre). Les luminaires DEL sont sans lentille.
- e) Pour le système d'EA avec HPS, la densité surfacique de puissance nominale est la même que lors des essais soit 101,6 W/m². Pour le DEL, la densité surfacique de puissance nominale est de 96,8 W/m² et correspond à l'intensité mentionnée au point d) ci-dessus.
- f) Les ratios d'efficacité et de consommation énergétique de l'EA qui sont ressortis durant les essais ont donc été appliqués dans cette modélisation pour l'évaluation de la rentabilité.

Le Tableau 112 énumère et décrit les valeurs des critères techniques qui ont servi à l'élaboration du modèle pour l'évaluation de la marge brute contributive de chaque mode d'éclairage artificiel et selon les pratiques culturales où se sont déroulés les essais.

Tableau 112 : Serres Ovation - Critères techniques spécifiques aux programmes de culture de tomates roses de serre afin d'établir une marge brute

Critère	HPS	DEL ^A	Sans EA
Nombre de jours de production	236	236	236
Tiges/m ² de culture à partir du 12 février Plantation le 3 janvier à 2,5 plants/m ²	3,3	3,3	3,3
Production vendable kg/m ²	70,8	70,8	51,2
Consigne moyenne ^B de chauffe jour °C	18,1	18,1	18,1
Consigne moyenne de chauffe nuit °C (production)	18,0	18,0	18,0
Besoin ^C de chauffe kWh/m ² avec un ratio de 12,92 kWh/m ² /100DJc	571	571	571
Énergie utilisée pour la déshumidification kWh/m ² (kWh net de chauffe)	63	63	63
Périodes avec éclairage	4 janvier au 21 mai 1er sept. au 7 décembre		
# de jours avec éclairage	236	236	
Moyenne d'heures éclairées h/j	13,28	13,28	
EA moyenne dans le PAR (mol m ⁻² j ⁻¹)	8,1	8,1	
Heures d'éclairage par an	3 135	3 135	
Énergie pour l'éclairage kWh/m ²	359,7	359,7	
Apport ^D de chauffe par EA kWh/m ²	69,3	58,4	
Coût ^E du kWh net de chauffe (\$/kWh) avec le prix du gaz naturel 0,44 \$/m ³	0,070	0,070	0,070
Coût du kWh d'EA	0,07	0,07	

^A Pour l'éclairage avec DEL, le luminaire est sans lentille avec une puissance ajustée pour procurer la même intensité lumineuse que les luminaires HPS.

^B Consigne pour la production excluant la période de changement de culture à 10 °C.

^C Le ratio utilisé correspond à celui d'une serre sans écran et pour le programme de culture tel que suivi par Serres Ovation et pour les caractéristiques des serres où s'effectue cette culture.

^D Le taux d'utilisation de chaleur des lampes en chauffe utile, établi à 19,3 % de l'énergie utilisée par l'EA du HPS et du DEL, tient compte des conditions et des périodes d'utilisation pour une serre n'ayant pas d'écran thermique).

^E Ce coût inclut 0,015 \$/kWh net de chauffe pour tenir en compte les frais reliés à l'infrastructure requise par la chauffe. et pouvant être influencé par le volume de chauffe : [(0,44 \$/m³ ÷ 7,9 kWh/m³) + 0,014 \$/kWh].

Marge brute par m² générée

Le Tableau 114 établit une marge brute par mètre carré et par rotation avec des valeurs pour les extrants et les intrants pouvant être considérées comme représentatives du type d'entreprise dans laquelle les essais ont eu lieu.

L'examen du Tableau 114, nous permet de constater que la marge brute générée sur une base annuelle est tributaire du taux gain agronomique (rotation ou du nombre de jours requis pour réaliser une culture), du coût de l'électricité et en grande partie du prix qu'on obtient pour ses produits (revenus).

Cette marge brute par rotation permettra d'obtenir une estimation de la marge brute annuelle générée lors de la période de fonctionnement de l'éclairage artificiel pour chacun des modes d'éclairage. La différence entre ces marges brutes annuelles servira à calculer la période de récupération de l'investissement (PRI) pour les deux modes d'éclairage artificiel (Tableau 114).

Pour la période éclairée, l'utilisation de l'éclairage HPS permet d'accroître la marge brute générée par m² de 33,26 \$ (167,97 \$ moins 134,72 \$, ligne C du Tableau 113), soit 24,7 % en plus par rapport au témoin, tandis que pour l'utilisation de l'éclairage DEL, cet accroissement de la marge brute est de 38,11 \$ par m² soit 28,3 % en plus par rapport au témoin.

Tableau 113 : Serres Ovation - Évaluation du gain de marge brute en \$/m²/an pour la production de tomates roses de serre selon 3 scénarios d'éclairage artificiel

ligne	Item	HPS	DEL	Sans EA
	Revenu sans EA	163,68	163,68	163,68
	Revenu en plus par l'EA	70,29	70,29	
A	Revenu	233,97	233,97	163,68
	Frais directs			
	Livraison	8,49	8,49	6,14
	Matériaux pour emballage	18,40	18,40	13,30
	Main-d'œuvre emballage	9,91	9,91	7,16
	Main-d'œuvre récolte	2,90	2,90	0,17
	Électricité pour EA	25,18	21,24	
	Chaleur utile de l'EA créditée ^A	-4,83	-4,07	
	Entretien & réparations EA ^B	2,92	1,25	0,00
	Autres frais directs reliés au volume produit ou vendu	3,03	3,03	2,20
B	Total des frais directs	65,99	61,14	28,96
C	Marge brute (A-B)	167,97	172,82	134,72
	Marge brute (B÷A X100)	71,8%	73,9%	82,3%
	Gain de marge brute par rapport à sans EA	33,26	38,11	
	Différence de la marge brute en % par rapport au témoin	24,7%	28,3%	

^A Pour une serre sans écran thermique.

^B Valeurs du Tableau 107 et du Tableau 108 ajustées pour 3 135 heures d'EA et pour une même intensité des luminaires HPS et DEL sur une rotation.

Pour une serre n'ayant pas d'écran thermique, le taux d'utilisation de l'énergie consommée des lampes en chauffe utile est établi à 19,3 % de l'énergie utilisée par les luminaires HPS ou DEL. Ce facteur affecte la marge brute générée par l'EA et conséquemment la période de récupération de l'investissement (PRI) pour celle-ci. Le Tableau 114, ci-dessous, rapporte l'effet qu'ont différents types d'aménagement de la serre sur la marge contributive. Comme on peut le constater dans ce tableau, l'utilisation d'écrans thermiques amplifie l'avantage de l'EA et tout particulièrement pour le luminaire DEL s'il est mis à la tête des plants ou dans la canopée.

Tableau 114 : Serres Ovation - Effets des aménagements de la serre sur la marge contributive lorsque le luminaire DEL est utilisé

Aménagements de la serre	Taux d'utilisation de l'énergie des lampes en chauffe utile	Valeur pour la marge contributive \$/m ²
Sans écran thermique	19,3 %	4,07
Avec écran thermique (60:40)	32,7 %	6,92
Luminaires dans la canopée ou à la tête des plants (<i>DEL seulement</i>)	86,8 %	18,36

Période de récupération de l'investissement

Cette modélisation (Tableau 112 et Tableau 113) nous indique que, pour cette culture, l'utilisation de l'éclairage artificiel avec HPS jouit d'une période de récupération de l'investissement (PRI) rapide de 2,7 ans et que la PRI pour l'éclairage DEL est plus lente de 6,2 ans (voir le Tableau 115).

En ajoutant un écran thermique de type 60:40 ⁴¹ en plus d'économiser sur le chauffage, on obtient une plus grande récupération de la chaleur dégagée par les luminaires. En effet, le PRI pour le HPS est maintenant de 2,4 ans et celui du DEL à 5,8 ans (voir le Tableau 116). Si on met les luminaires DEL à la tête des plants ou dans la canopée, on réussira à récupérer pratiquement toute l'énergie (86,8 %) utilisée par le luminaire en chauffe utile, même sans écran thermique. La PRI du DEL devient alors à 4,5 ans ce qui peut être adéquat sur le plan financier tout dépendant de la perspective que l'on a vis-à-vis des tarifs électriques sur une base à long terme (voir le Tableau 117).

Les luminaires DEL émettent dans un spectre étroit et spécifique de longueurs d'onde avec lesquelles la photosynthèse s'effectue théoriquement plus efficacement (voir l'Annexe 6 et l'Annexe 25). Donc pour une même quantité de lumière émise dans le PAR et pour des mêmes conditions de culture, on pourrait théoriquement obtenir pour une même intensité un avantage d'environ de 5 % à 10 % dans la croissance des plants ou de leur production avec l'éclairage DEL. Cependant, cela n'a pas été tenu en compte dans l'évaluation économique HPS vs DEL, étant donnée la difficulté sur le plan expérimental de démontrer cela (précision permise par les conditions expérimentales).

⁴¹ Un écran thermique est une toile qu'on déploie au-dessus de la canopée des plants généralement entre le coucher et le lever du soleil pour ainsi minimiser les pertes de chaleur dans la serre. L'écran thermique est composé en alternance de bandelettes en aluminium et de bandelettes en polyester ou polyéthylène. Pour une 60:40, le taux de rétention de chaleur est d'environ 60 % (valeur en laboratoire).

Tableau 115 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée
Serre sans écran thermique

Item	HPS	DEL ^A
Gain en marge brute \$/m ² /an	33,26	38,11
Investissement \$/m ²	89,39	237,75
PRI en années	2,7	6,2

^A L'investissement par m² pour le luminaire DEL et provenant du Tableau 102 a été augmenté de 49,04 \$ (194 \$ par luminaire) puisqu'il s'agit d'un luminaire sans lentille et ayant une intensité égale au luminaire HPS.

Tableau 116 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée
Serre avec écran thermique de type 60:40

Item	HPS	DEL ^A
Gain en marge brute \$/m ² /an	36,63	40,95
Investissement \$/m ²	89,39	237,75
PRI en années	2,4	5,8

^A L'investissement par m² pour le luminaire DEL et provenant du Tableau 102 a été augmenté de 49,04 \$ (194 \$ par luminaire) puisqu'il s'agit d'un luminaire sans lentille et ayant une intensité égale au luminaire HPS.

Tableau 117 : Serres Ovation - Période de récupération de l'investissement (PRI) selon le gain de marge brute procuré par chacun des modes d'EA artificiel utilisée
Serre sans écran thermique
Luminaire DEL à la tête des plants ou dans la canopée

Item	HPS	DEL ^A
Gain en marge brute \$/m ² /an	33,26	52,39
Investissement \$/m ²	89,39	237,75
PRI en années	2,7	4,5

^A L'investissement par m² pour le luminaire DEL et provenant du Tableau 102 a été augmenté de 49,04 \$ (194 \$ par luminaire) puisqu'il s'agit d'un luminaire sans lentille et ayant une intensité égale au luminaire HPS.

4. DIFFUSION DES RÉSULTATS

Remplir le tableau de la page suivante.

Décrire :

- les activités prévues telles que planifiées à l'Annexe A de la convention de contribution financière;
- les activités réalisées;
- les dates des activités;
- le nombre de personnes rejointes.

De plus,

- annexer les communiqués de presse ou autres documents remis lors de conférences de presse ou autres événements officiels;
- ajouter des copies des articles de journaux ou de revues qui ont été publiés;
- inclure une copie des programmes des activités où les résultats ont été diffusés (ex. : colloques ou conférences) ou tout autre document de diffusion.

DIFFUSION DES RÉSULTATS

*Supprimer ou ajouter les activités qui s'appliquent à votre projet et remplir les colonnes suivantes.
Annexer au rapport les documents de diffusion produits.*

<i>Activités prévues de l'ANNEXE A</i>	<i>Activités réalisées</i>	<i>Description (thème, titre, endroit, etc.)</i>	<i>Date de réalisation</i>	<i>Nombre de personnes rejointes</i>	<i>Visibilité accordée au PCAA (logo, mention)</i>
Distribution de signets ou de documents de type carte postale lors des diverses activités du SPSQ : -Assemblée générale annuelle du SPSQ; -Tournée régionale du SPSQ; -Expo-FIHOQ; -Info-Serre.	Le signet sera produit en janvier et distribué dans les événements nommés dans la prochaine case	Journées d'information de l'IQDHO EXPO-FIHOQ 2 journées d'information du MAPAQ AGA SPSQ	Janvier 2014	Entre 200 et 300	Le logo sera sur le signet
Publication de l'annonce du projet dans l'Info-Serre	Publication de l'annonce et du suivi de la réalisation du projet dans l'Info-Serre	Une brève description du projet et l'avancement du projet ont été diffusés dans l'Info-Serre	Mars 2013 Juillet 2013	700	Logo et mention du PCAA
Publication de l'étude 1. Mise en ligne de l'étude sur le site d'Agri-Réseau; 2. Mise en ligne de l'étude sur le site Internet du SPSQ; 3. Mise en ligne de l'étude sur le site Internet du CIDES.	1. Publication du rapport. 2. Publication du rapport. 3. Le rapport n'a pas pu être mis sur le site du CIDES, car le site Internet n'existe plus et que l'entreprise est en processus de dissolution.	Le présent rapport excluant les sections 4 et 7 de ce rapport.	Décembre 2013	1. Non disponible. Le site est spécialisé pour les producteurs agricoles et serricoles québécois. Le site est une référence pour les producteurs serricoles québécois. 2. Non disponible. Le site est spécialisé pour les producteurs serricoles québécois. Le site est une référence pour les producteurs serricoles québécois.	Logo et mention du PCAA

5. CONCLUSIONS

Résumer les retombées prévues à court terme, moyen terme (suite au projet) et à long terme sur le secteur.

À court terme, le projet a permis l'amélioration des connaissances quant à l'utilisation des lampes à diodes électroluminescentes (DEL) et de l'utilisation en générale de l'éclairage artificiel. Aussi, ce projet a permis d'obtenir plus d'information sur les performances agronomique, énergétique et économique que peuvent procurer les lampes DEL de technologie récente aux principales cultures maraîchères en serre (tomates et laitue) en conditions réelles de production comme remplacement de la technique traditionnelle d'éclairage aux lampes haute pression de sodium (HPS).

Vu les résultats positifs obtenus, les retombées prévues à moyen terme visent une plus grande adoption de l'utilisation DEL dans la production en serre, mais aussi des services techniques qui seraient associés à l'éclairage artificiel. Les DEL utilisant moins d'énergie pour produire une même intensité lumineuse, cela représente une réduction des coûts de production.

Les luminaires DEL utilisent certes, 20 % de moins d'énergie pour une même intensité lumineuse, mais leur rentabilité est déterminée en grande partie par le prix de l'électricité et leur coût d'installation si on se limite à les utiliser dans une forme et un design traditionnel d'éclairage de photosynthèse. Il faut donc sortir des sentiers battus si on veut tirer parti des possibilités que les DEL offrent. Une des avenues est à coup sûr l'éclairage dans la canopée avec lequel pratiquement toute l'énergie du luminaire est utile en chauffe et en photons.

La rentabilité de l'utilisation du DEL est avant tout déterminée par l'amélioration de la marge brute incrémentale. De plus, le fait de pouvoir jouer facilement sur la composition de la lumière selon les besoins physiologiques et morphologiques permettrait d'améliorer les revenus de façon importante durant l'hiver.

Dans un horizon de 10 ans, si on sait bien utiliser l'éclairage de photosynthèse avec DEL, on pourrait accroître au Québec, la superficie de serres éclairées de 25 à 43 hectares. L'utilisation des DEL devient une alternative intéressante aux lampes HPS pour la production maraîchère en serre en période hivernale pourvu que le savoir-faire (exemples : programme d'éclairage artificiel, design, créativité dans les installations et l'utilisation) permet l'amélioration des coûts d'utilisation et l'obtention de meilleure marge contributive.

La longévité des équipements et le peu de ressources pour son entretien des luminaires DEL sont des avantages pour les producteurs qui sont toujours à la recherche d'utiliser moins de ressources pour opérer leurs serres.

Inscrire les recommandations découlant des résultats.

Le choix d'un système d'éclairage artificiel pour la photosynthèse se situe dans contexte où plusieurs éléments vont entrer en interaction :

- Objectif d'accumulation de lumière pour optimiser la production.
- Harmonisation du nombre d'heures d'éclairage et de la puissance requise en fonction des frais de production et d'investissement.
- Influence sur la marge brute annuelle générée et période de récupération de l'investissement.

Un projet d'éclairage artificiel DEL demande une démarche structurée pour être en mesure d'identifier les conditions gagnantes et la pérennité d'un tel projet (collaboration, mise en œuvre et adoption par le secteur, etc.).

Il serait souhaitable que l'entreprise serricole réalise un audit énergétique et de lumière pour déterminer certains paramètres technicoéconomiques, mais aussi pour améliorer la situation actuelle (exemple : améliorer la luminosité de la serre, utiliser un écran thermique pour mieux conserver la chaleur et la lumière émise par les lampes la nuit).

Évidemment, la réalisation d'audit dans le secteur serricole demande une expertise de pointe qui est peu développée et accessible présentement. Ainsi, c'est un service à développer et qui devrait être supporté par le milieu serricole, mais aussi par ceux qui croient à l'éclairage artificiel ou encore par ceux qui le prônent. La neutralité de ceux qui feront les audits est souhaitée.

Pour utiliser l'éclairage artificiel DEL, l'entreprise serricole doit bien identifier et évaluer différents paramètres technicoéconomiques pour être en mesure d'évaluer adéquatement la période de retour de l'investissement (PRI) et tenir compte que certains paramètres technicoéconomiques peuvent fluctuer dans le temps (exemples : le coût unitaire de l'électricité servant à l'éclairage artificiel, le coût des combustibles utilisés pour la chauffe, le marché).

L'utilisation des DEL pourra se faire graduellement dans une entreprise pour qu'elle puisse maîtriser et intégrer ce nouveau procédé dans son contexte d'opération, mais aussi pour mieux évaluer les impacts au niveau agronomique et économique.

L'utilisation du DEL doit se faire sur une perspective à long terme pour être justifier. Ainsi, il faut s'assurer que les diverses composantes d'un système d'éclairage artificiel puissent résister aux conditions climatiques qu'on retrouve dans les serres. Un tel investissement par m² nécessite plusieurs tests de sensibilité sur les paramètres les plus susceptibles d'influencer la rentabilité de leur utilisation : sur le coût de l'électricité, sur la réponse agronomique à l'ajout de lumière artificiel, sur l'influence du prix vendu, etc. Il faut se rappeler que la période d'amortissement doit être liée à la durée de vie anticipée des diverses composantes du système d'éclairage artificiel (exemples : lampe, bloc d'alimentation). Si la durée de vie d'une des composantes n'est pas celle anticipée, ceci augmentera la PRI. Un des facteurs déterminants est la période d'amortissement. Donc, la vie utile doit se réaliser.

L'entreprise devra faire attention de justifier un tel investissement si elle se base seulement sur un coût d'électricité financé par un programme d'aide quelconque, car les programmes peuvent se terminer à tout moment. Un programme d'aide pour financer le DEL serait aussi pertinent à condition que la technologie soit optimalement intégrée au système de production.

Pour utiliser de façon optimale un système d'éclairage artificiel, il faut s'assurer que le plant possède toutes les conditions gagnantes pour maximiser la photosynthèse (exemples : température et DPV optimale, système racinaire en santé) et que l'entreprise serricole maîtrise adéquatement la gestion et les opérations de la serre pour une production donnée.

Finalement, il faudra développer et évaluer différentes façons d'utiliser l'éclairage artificiel DEL (exemples : luminaire directement dans la canopée).

Est-ce qu'il y a des suites possibles au projet?

Afin de continuer à explorer l'utilisation des DEL, une demande d'aide financière a été déposée dans le cadre du programme Agri-Innovation. L'objectif principal du projet vise à déterminer les performances agronomiques et économiques des principales cultures maraîchères en serre sous éclairage artificiel par variation de l'orientation spatiale par rapport à la canopée de lampes DEL bleues et rouges. Plus spécifiquement, le projet vise à mener une évaluation agronomique des cultures de tomates, de poivrons et de laitues sous les différentes orientations spatiales d'éclairage de photosynthèse (position dans la canopée, en tête de plants, au sol et combinaisons des précédentes combinaisons); à réaliser une analyse technicoéconomique et à diffuser les résultats du projet de manière à faire connaître cette option à l'ensemble des producteurs en serre du Canada et autres entreprises agricoles.

6. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET

Rédiger le sommaire des accomplissements du projet. Pour rédiger le texte, répondre aux six questions sous forme d'un texte suivi de moins de 2 500 caractères. Ce texte pourra servir aux fins de publication sur le site Internet du PCAA d'AAC. Le sommaire doit être compréhensible sans l'apport d'autres documents.

En quoi ce projet est-il important?

Sous des conditions d'éclairage naturel faible comme c'est le cas au Canada en hiver, l'éclairage artificiel constitue une solution de choix pour la production maraîchère en serre.

Dans un horizon de 10 ans, si on sait bien utiliser l'éclairage de photosynthèse, que ce soit avec HPS ou avec DEL, on pourrait accroître au Québec, la superficie de serres éclairées de 25 à 43 hectares. L'utilisation des DEL devient une alternative intéressante aux lampes HPS pour la production maraîchère en serre en période hivernale pourvu que le savoir-faire (exemples : programme d'éclairage artificiel, design, créativité dans les installations et l'utilisation) puisse permettre l'amélioration des coûts d'utilisation et l'obtention de meilleures marges contributives.

Le projet a démontré les bénéfices d'un niveau d'éclairage élevé sur le plan agronomique et que l'éclairage artificiel contribue à l'augmentation du volume de marge générée. De plus, on peut facilement placer les luminaires DEL dans la canopée et ainsi utiliser utilement toute son énergie.

Pourquoi avez-vous mis ce projet de l'avant?

Ce projet a été mis de l'avant afin d'améliorer les connaissances quant à l'utilisation des DEL dans l'éclairage de photosynthèse et permettre une plus grande adoption de ce mode d'éclairage vu l'économie d'énergie que les DEL permettent.

Quelles activités ont été réalisées?

La première activité du projet a consisté en la réalisation d'un protocole d'expérimentation qui vise à établir l'hypothèse de travail et à préciser le matériel et la méthode utilisés. Ensuite, nous avons procédé à la phase d'expérimentation sur les deux sites de production (laitue et tomate) ce qui brièvement consisté à placer une superficie de la serre sous éclairage artificiel et à recueillir les données agronomiques, climatiques et énergétiques en cours de réalisation. Finalement, après avoir recueilli l'ensemble des données nécessaires, nous avons pu réaliser le rapport de fin de projet qui a visé à dresser un bilan agronomique, climatique, énergétique et économique.

Les principaux partenaires dans le cadre du projet ont été le SPSQ évidemment, mais aussi Gilles Cadotte, consultant, Philippe Lefebvre de LED Innovation Design et Mark Lefsrud de l'Université McGill.

Pourquoi le projet et ses résultats sont-ils importants pour le groupe cible et/ou les intervenants?

Le projet est très important pour le secteur serricole québécois vu le besoin d'optimiser l'usage de nos infrastructures requises pour la production durant la saison froide. Toutefois, le fait de produire à l'année permet à ces producteurs de fournir des légumes à l'année, ce qui est un critère nécessaire dans le choix des fournisseurs des grandes chaînes. Évidemment, la présence dans les grandes chaînes permet d'accéder à un volume de vente plus élevé.

Qu'a-t-on appris?

- Les parcelles éclairées par les luminaires DEL sont aussi productives que les parcelles HPS.
- Pour un système d'éclairage artificiel soit utilisé à son plein potentiel, il faut avoir les conditions gagnantes pour maximiser le processus de photosynthèse.
- Dans le cadre de ce projet, les économies d'énergie liées à l'utilisation des DEL versus les HPS sont d'environ 20 %.
- Les luminaires DEL pourraient être utilisés plus près de la tête des plants ou encore dans la canopée pour ainsi récupérer davantage la chaleur émise par les DEL et le bloc d'alimentation. Ce qui n'est pas possible de faire avec les HPS. Pour la production de tomates, les luminaires DEL agissent comme du chauffage localisé. Ainsi, l'économie d'énergie en serait plus élevée grâce à l'apport de chaleur directement aux plants. Au niveau de l'investissement, si le prix des combustibles utilisés pour la chauffe est élevé, ceci favorise davantage l'investissement sur un système d'éclairage DEL. Aussi, l'utilisation d'écrans thermiques est souhaitable pour préserver davantage la chaleur et la lumière émise par les luminaires la nuit.
- L'implantation d'un système d'éclairage artificiel demande beaucoup de préparation. Pour faire une évaluation technicoéconomique adéquate, l'entreprise sericole doit bien identifier et évaluer les différents paramètres et réaliser des études de sensibilité. Aussi, l'entreprise devra tenir compte que certains de ces paramètres technicoéconomique peuvent fluctuer dans le temps. La collaboration de professionnels d'expérience est souhaitable pour accompagner l'entreprise dans sa démarche pour entreprendre l'installation et l'utilisation d'un système d'éclairage artificiel.

Quelles sont les prochaines étapes?

- La solution ou la stratégie sera-t-elle mise en œuvre?

OU

- Le secteur adoptera-t-il le nouveau produit ou processus ou la nouvelle technologie?

Afin de continuer à explorer l'utilisation des DEL, une demande d'aide financière a été déposée dans le cadre du programme Agri-Innovation. L'objectif principal du projet vise à déterminer les performances agronomiques et économiques des principales cultures maraîchères en serre sous éclairage artificiel par variation de l'orientation spatiale par rapport à la canopée de lampes DEL bleues et rouges. Plus spécifiquement, le projet vise à mener une évaluation agronomique des cultures de tomates, de poivrons et de laitues sous les différentes orientations spatiales d'éclairage de photosynthèse (position dans la canopée, en tête de plants, au sol et combinaisons des précédentes combinaisons); à réaliser une analyse technicoéconomique et à diffuser les résultats du projet de manière à faire connaître cette option à l'ensemble des producteurs en serre du Canada et autres entreprises agricoles.

7. PLAN DE FINANCEMENT ET CONCILIATION DES DÉPENSES

Remplir et transmettre le Plan de financement et conciliation des dépenses (relié à l'Annexe B de la convention de contribution financière) dont vous avez reçu une copie électronique en format MS Excel.

Vous devez y joindre toutes les copies de factures relatives aux postes budgétaires. Les contributions du demandeur et des partenaires doivent également être justifiées. **Aucun versement ne sera effectué sans que les pièces justificatives acquittées ne soient déposées.**

Référez-vous aux instructions disponibles dans la première feuille du chiffrier Excel intitulé **Plan de financement et conciliation des dépenses**.

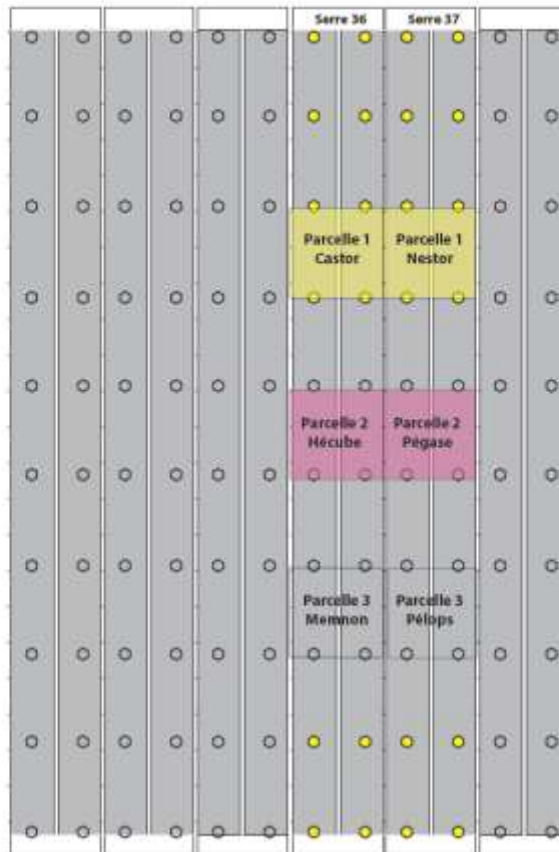
Tout projet peut faire l'objet d'un audit.

Conformément à l'entente de contribution, vous êtes tenu de tenir le CDAQ informé des modifications au projet et au plan de financement.

Dernière mise à jour du formulaire par le CDAQ : 17 mars 2010

Annexe 1 : Les Serres Lefort - Présentation du dispositif expérimental

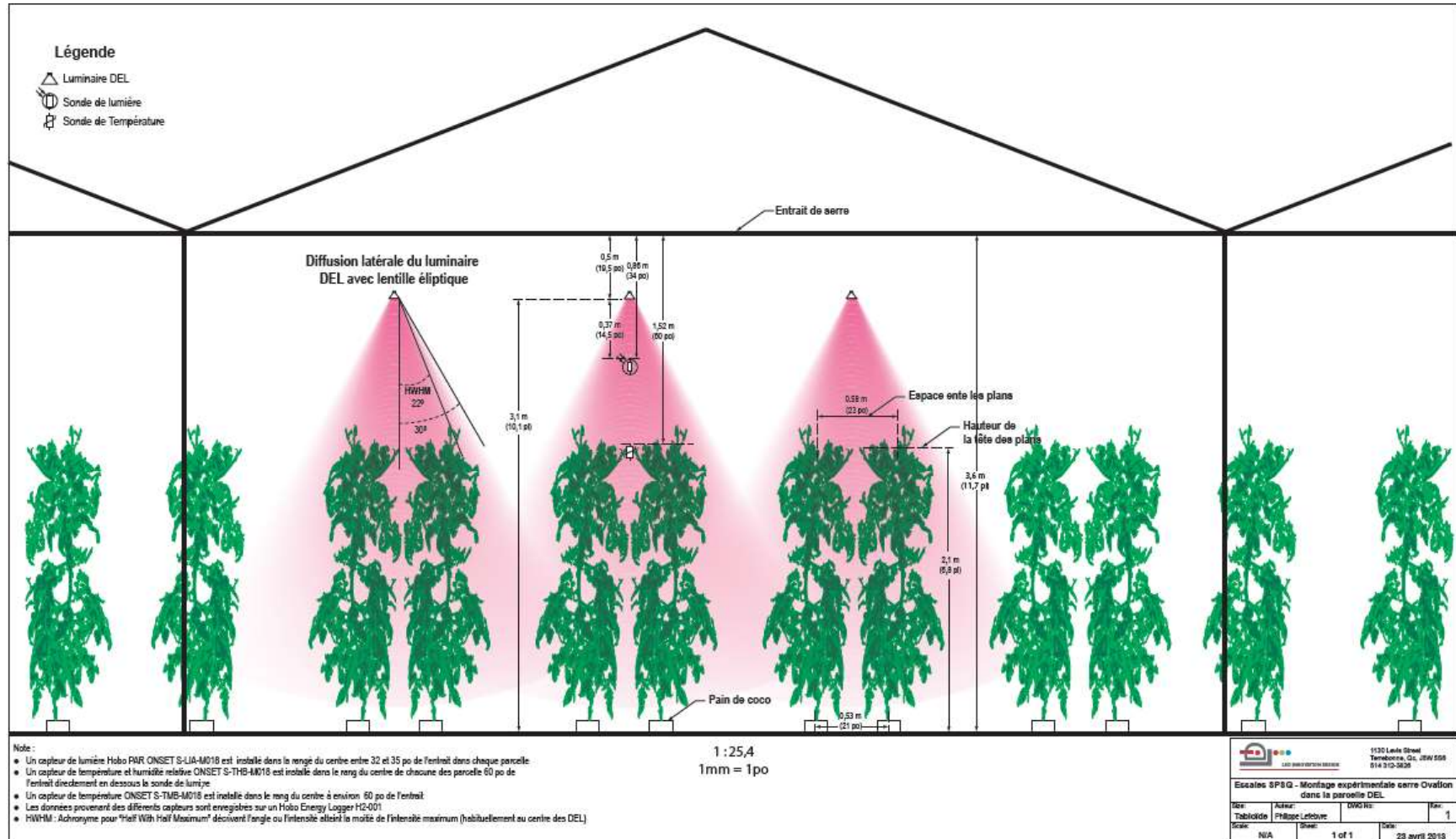
Plan des parcelles expérimentales
Essai d'éclairage de photosynthèse avec lampes HPS vs Lampes DEL



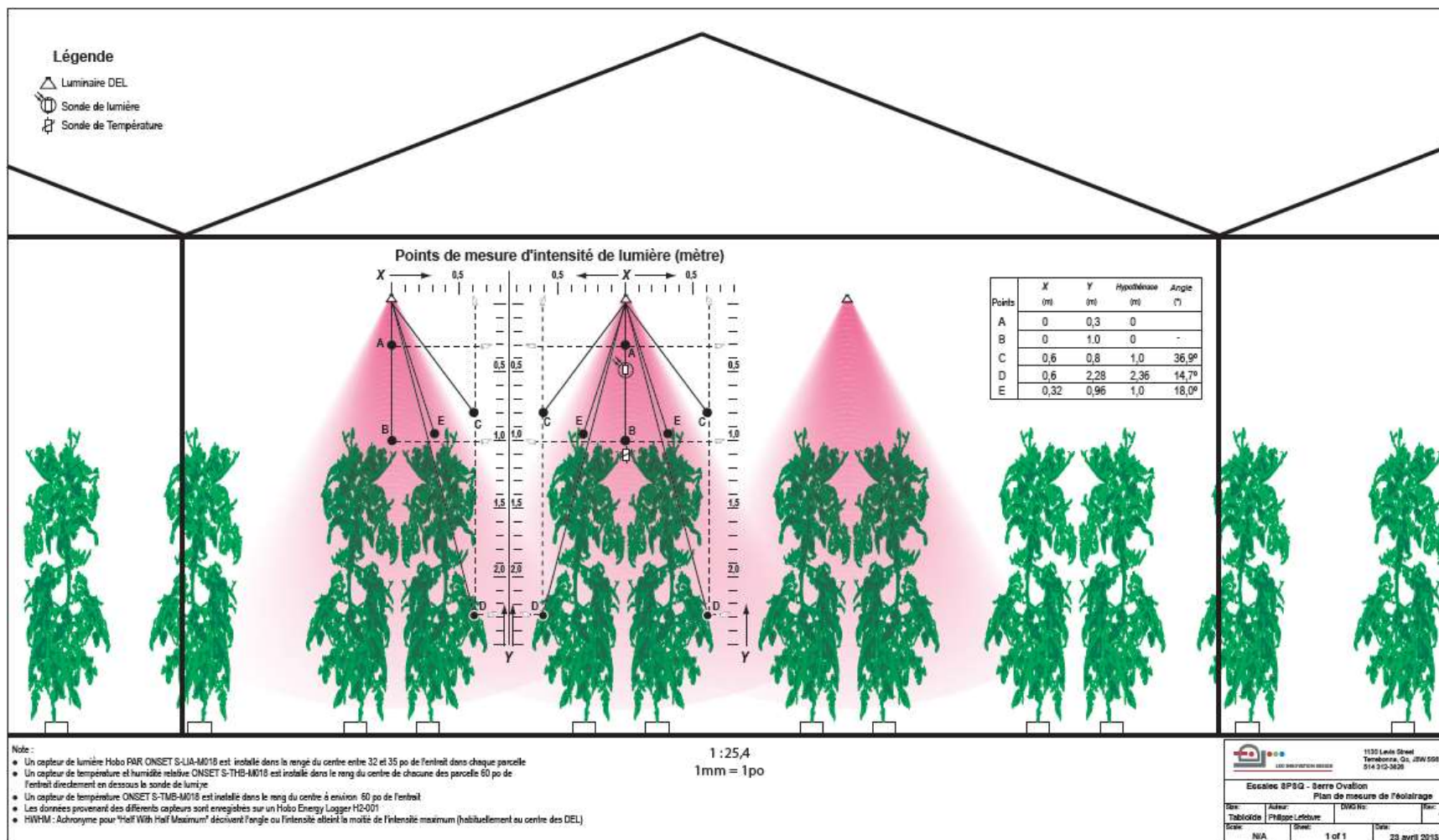
Note : Les lampes HPS déjà installé dans la serre mais ne servant pas à éclairer les parcelles expérimentales seront éteint durant l'expérimentation


 Montage expérimentale
 Serre Lefort (Pouponière)
 7 nov 2013
 Rev 3

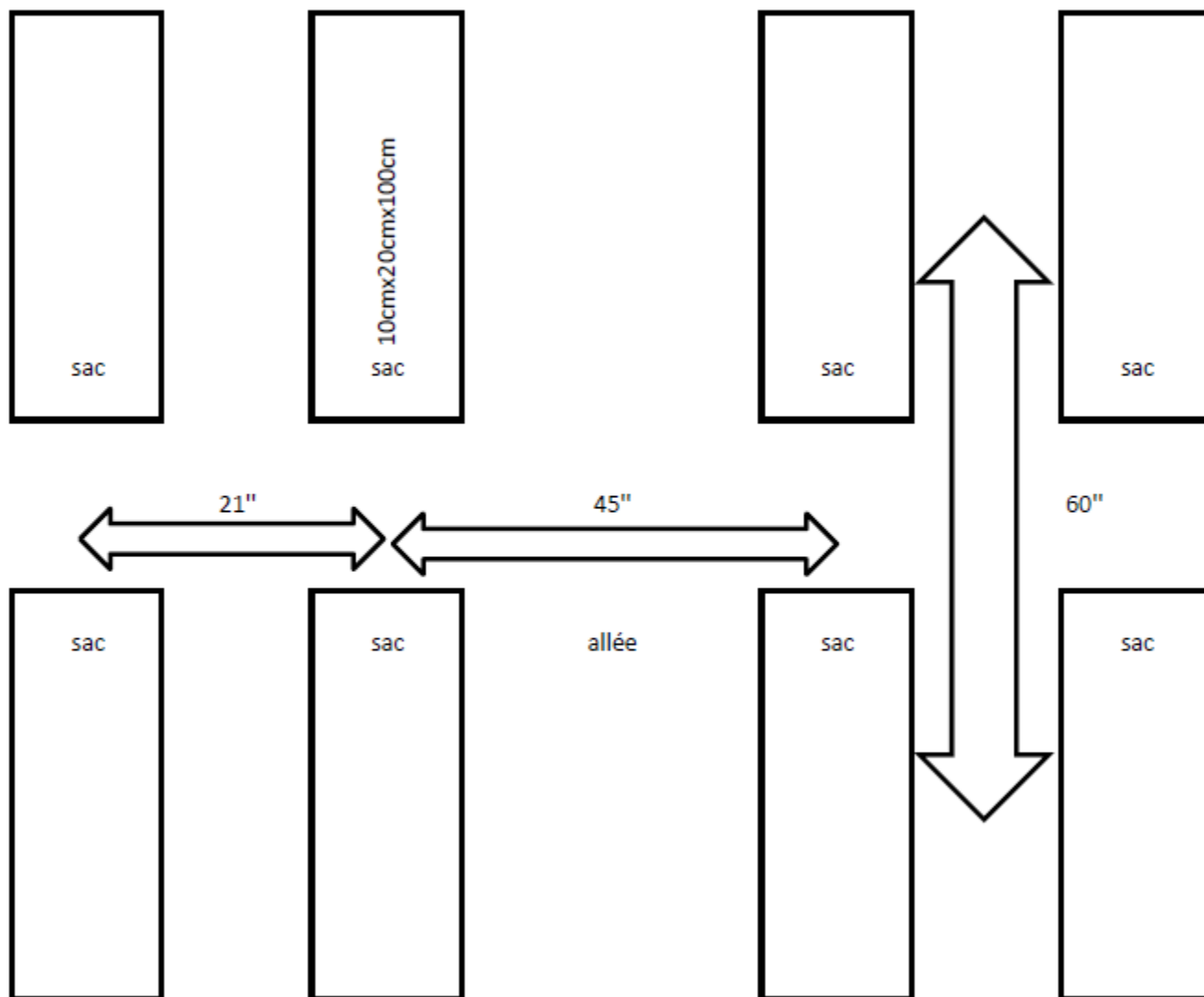
Annexe 2 : Serres Ovation - Complexe 1 - Coupe verticale et transversale de la parcelle en éclairage DEL



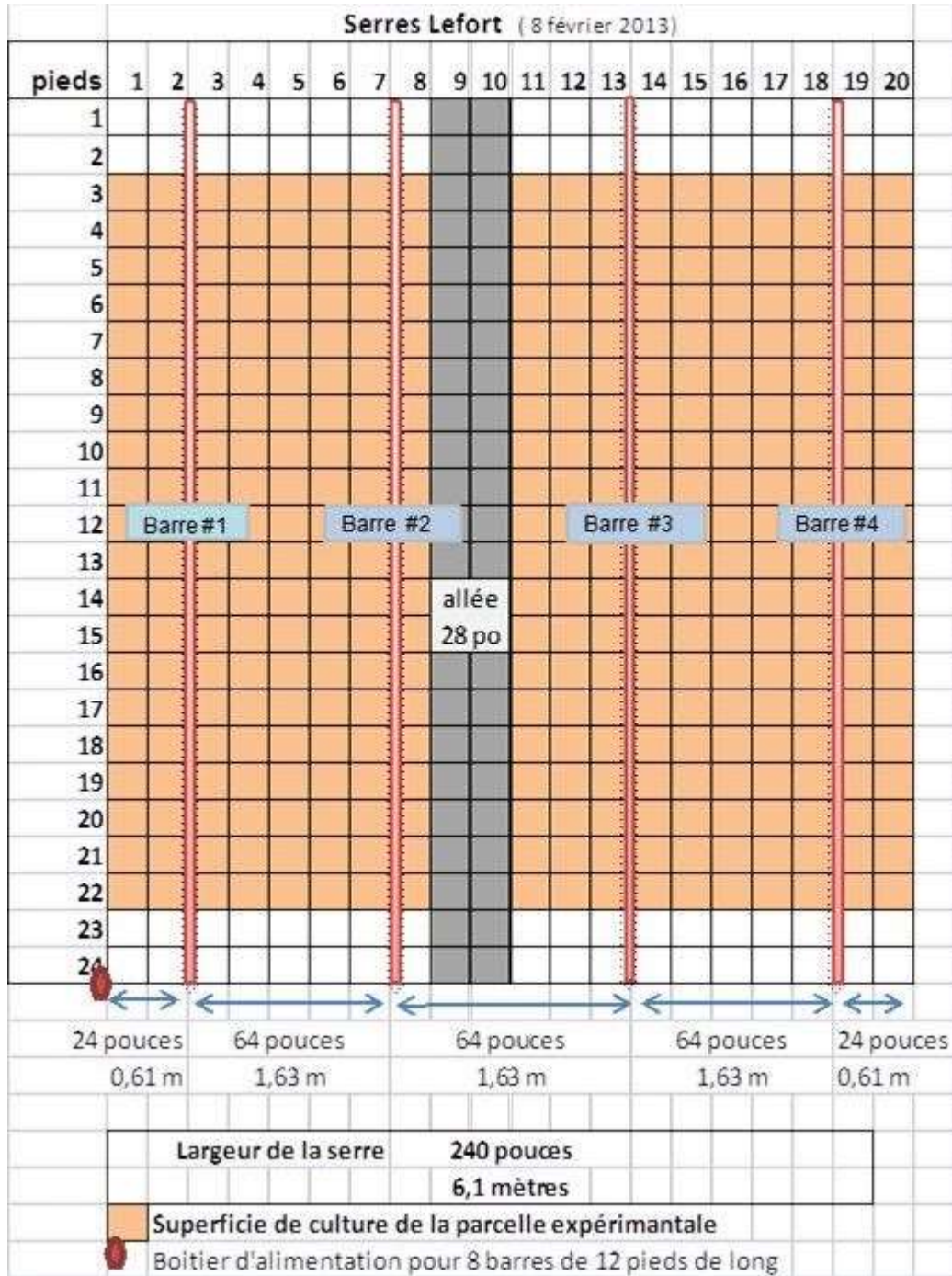
Annexe 3 : Serres Ovation - Complexe 1 - Localisation des points de mesure pour l'intensité lumineuse - Parcelle en éclairage DEL



Annexe 4 : Serres Ovation - Complexe 1 - Vue aérienne de la disposition des sacs de substrat



Annexe 5 : Les Serres Lefort - Disposition des barres DEL



Annexe 6 : Caractéristiques de l'éclairage HPS chez Les Serres Lefort et Serres Ovation

HPS - Les Serres Lefort

GE
Lighting



Lucalox™ PSL

Lucalox™ PSL Tubular Clear 230V 250W, 400W, 600W and 750W
Lucalox™ PSL Tubular Clear 400V 600W and 750W

DATASHEET



Superb performance and high reliability

- GE's advanced sodium resistant ceramic helps eliminate early failures to give a rated service life of up to 12,000 hours for the Lucalox™ PSL products.
- In order to achieve maximum performance, GE recommends lamp replacement when the rated service life is reached.
- The lamp uses extra rugged monolithic arc tubes equipped with GE Reliable Starting Technology which provides continuous high performance.

High Xenon-Fill gas delivers:

- Extra light and PAR (Photosynthetically Active Radiation) output.
- More resistance to mains voltage fluctuations.

Zirconium gettering system gives:

- Improved PAR maintenance that drives constant and uniform plant growth.

Top Marking

- With the increased use of 400V systems, these lamps will be clearly marked with the voltage and wattage on the top of the lamp to ensure correct installation.

The diameter of the frame wire in the lamp has been minimised to reduce shading in the installation without affecting the robustness of the lamp.

Basic data

Product Description Standard	LU250W/PSL/T/E40	LU400W/PSL/T/E40	LU600W/PSL/T/E40
Product Description Bulk	N/A	LU400W/PSL/T/E40/Bulk	LU600W/PSL/T/E40/Bulk
Standard Product Code	88665	17106	17107
Bulk Product Code	N/A	44304	44305
Nominal Wattage (W)	250	400	600
Rated Wattage (W)	270	416	605
Volts (V)	115	110	115
Cap	E40	E40	E40
Nominal Lumen (lm)	33000	56500	90000
Rated Lumen (lm)	34300	57120	88090
Rated Lamp efficacy (lm/W)	113	138	146
Mercury Content (mg)	23.2	19.2	21.1
Rated Life (h)	10,000	12,000	12,000
CCT (K)	2100	2100	2100
Colour Rendering Index (Ra)	22	22	22
Ambient Temperature	25	25	25
Bulb	Hard	Hard	Hard
Mass Weight (g)	160	210	220
Operating Position	Universal	Universal	Universal



GE imagination at work

Product Description Standard	LU750W/PSL/T/E40	LU400V/600W/PSL/T/E40	LU400V/750W/PSL/T/E40
Product Description Bulk	LU750W/PSL/T/E40/Bulk	LU400V/600W/PSL/T/E40/Bulk	LU400V/750W/PSL/T/E40/Bulk
Standard Product Code	17108	43440	43438
Bulk Product Code	44306	43439	43437
Nominal Wattage (W)	750	600	750
Rated Wattage (W)	NA	617	769
Volts (V)	115	115	115
Cap	E40	E40	E40
Nominal Lumen (lm)	112000	90000	112000
Rated Lumen (lm)	109230	84980	105320
Rated Lamp Efficacy (lm/W)	146	138	137
Mercury Content (mg)	21.1	21.9	24.7
Rated Life (h)	10,000*	12,000	12,000
CCT (K)	2100	2100	2100
Colour Rendering Index (Ra)	22	22	22
Ambient Temperature	25	25	25
Bulb	Hard	Hard	Hard
Mass Weight (g)	230	220	230
Operating Position	Universal	Universal	Universal

*Life data limited to 6,000 hours until further notice, contact your sales representative for further information

Dimensions

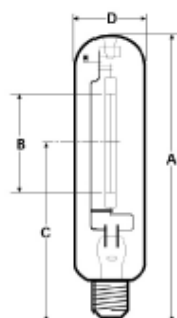


Figure 1.

Lamp data

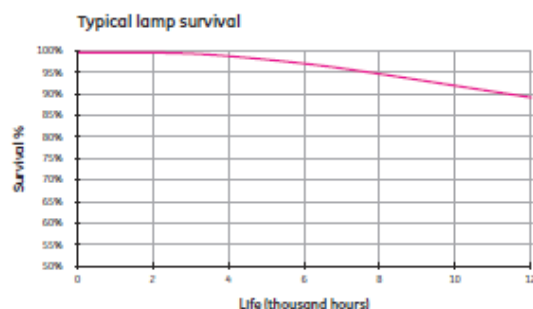
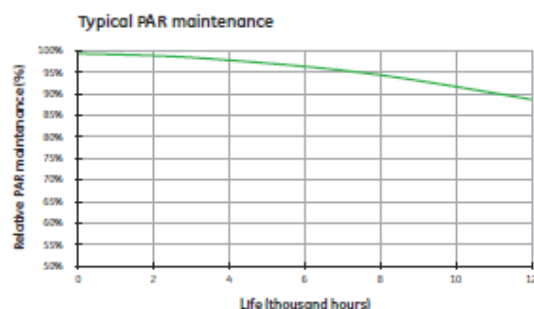
Product Description	LU250W/PSL/T/E40	LU400W/PSL/T/E40	LU600W/PSL/T/E40	LU750W/PSL/T/E40	LU400V/600W/PSL/T/E40	LU400V/750W/PSL/T/E40
Standard Product Code	88665	17106	17107	17108	43440	43438
Bulk Product Code	N/A	44304	44305	44306	43439	43437
Nominal Wattage (W)	250	400	600	750	600	750
A Max. Length (mm)	260	292	292	291	292	293
B Arc Gap (mm)	67	87	117	115	124.5	143
C LCL (mm)	158	175	169	171	169	175
D (mm)	48	48	48	51	48	51

Lamp survival and PAR maintenance

Rated service lamp life & PAR maintenance is based on laboratory tests of a large number of representative lamps under controlled conditions, including operation at 3 hours per start on ballasts having specified electrical characteristics. Reliability is also tested in large scale field tests in greenhouses.

The following conditions can reduce average lamp life and lumen maintenance:

- frequent on/off switching
- high line voltage
- excessive vibration
- high ambient temperature within the fixture
- non-compatible ballast and ignitor characteristics.



Rated service life

The survival of individual lamps or particular groups of lamps depends on these system conditions (see Lamp Survival graph). For cost-of-light calculations involving these lamps, it is suggested to replace both the 230V and the 400V type PSL lamps after 10,000 hours burning.

PAR maintenance

Under the same controlled conditions, initial reference PAR value refers to the lamp light output after 100-hours burning. Due to variations in systems and service conditions (in particular the burning cycle and the operating system), actual lamp performance can vary from the reference PAR ratings.

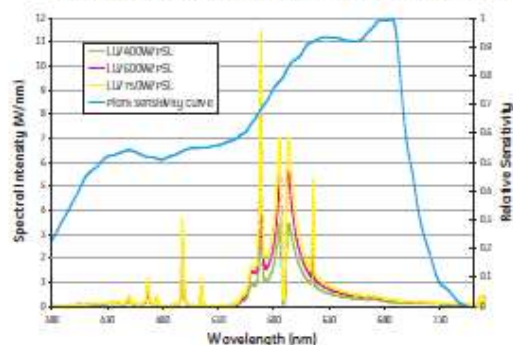
Photometric data

Watts	Volts [V]	Current [A]	Power [W]	100 hour Lumens	100 hour PAR $\mu\text{mol}/\text{sec}$
LU250W/PSL	115	2.7	250	33,000	430
LU400W/PSL	110	4.3	420	56,500	710
LU600W/PSL	115	6.0	615	90,000	1080
LU750W/PSL	115	7.4	755	112,000	1320
LU400V/600W/PSL	200	3.6	620	85,000	1120
LU400V/750W/PSL	205	4.4	765	104,000	1390

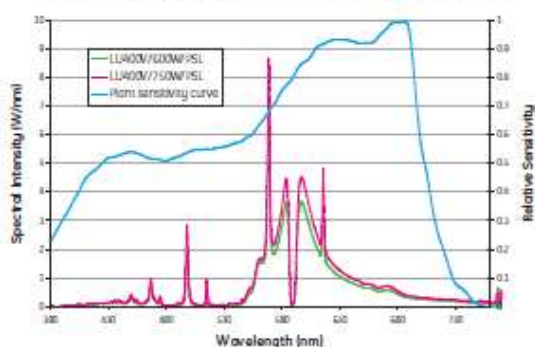
Photometric data is quoted in a horizontal orientation operating from a nominal ballast at rated supply volts.

Spectral power distribution

Spectral power distribution – 230V type PSL lamps



Spectral power distribution – 400V type PSL lamps



Electrical data

Data is based on a nominal lamp operating from a nominal choke (reactor) ballast with power factor correction. Supply power is based on a typical commercially available ballast.

Lamp data (nominal)

Watts	Volt [V]	Current [A]	Power [W]
LU250W/PSL	115	2.7	250
LU400W/PSL	110	4.3	420
LU600W/PSL	115	6.0	615
LU750W/PSL	115	7.4	755
LU400V/600W/PSL	200	3.6	620
LU400V/750W/PSL	205	4.4	765

Depending on systems conditions, lamp power can vary by $\pm 2.5\%$

Run-up characteristics

The graph shows typical run-up characteristics for a LU600W/PSL lamp. The time needed for the light output to reach 90% of the final value is determined by the supply voltage and ballast design. Typical values are:

Watts	400	600	750
Run-Up (minutes)	5	4	3

Hot restrike time

All ratings restrike within 5 minutes. This occurs when the lamp has cooled to a temperature at which the starting aid can re-establish the arc. The new solid state starting aid is integrally bonded to the arc tube for shorter restrike time, and improved reliability — no moving parts or welds.

Supply voltage

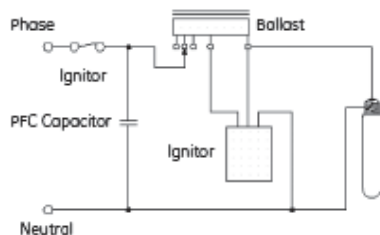
Lamps are suitable for supplies in the range 220V to 250V 50/60 Hz (230V PSL) or 390V to 420V 50 Hz (400V PSL) for appropriately rated series choke (reactor) ballasts. Supplies outside these ranges require a transformer (conventional, high reactance or CWA) to ensure correct lamp operation. Lamps start and operate at 10% below the rated supply voltage when the correct control gear is used. In order to maximise lamp survival and PAR maintenance, the supply voltage and ballast design voltage should be within $\pm 3\%$.

Supply variations of $\pm 5\%$ are permissible for short periods only. This may be achieved by measuring mean supply voltage at the installation and selecting ballasts with appropriate settings. Lamps should be used with gears rated to lamp nominal supply voltage.

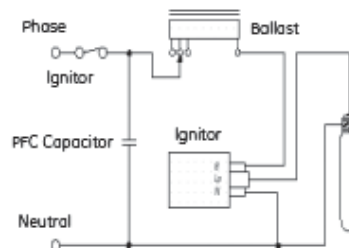
Ballasts

It is essential to use a ballast appropriate to the supply voltage at the luminaire. Typical wiring diagrams for control circuits incorporating "Superimposed" or "Impulser" ignitor and choke (reactor) ballast are shown. Refer to actual choke and ignitor manufacturers' data for terminal identification and wiring information.

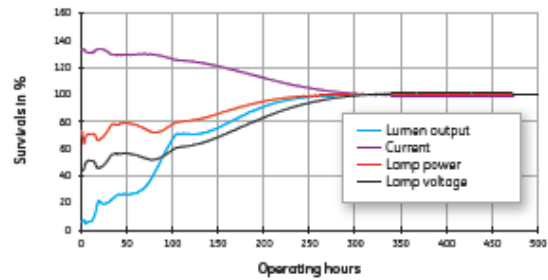
Typical impulser ignitor circuit



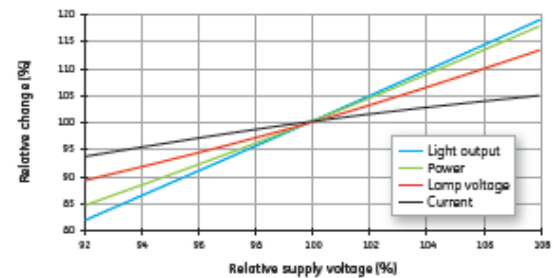
Typical superimposed ignitor circuit



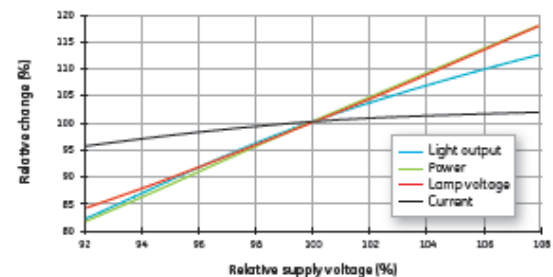
Typical run-up characteristics



Mains voltage variations – 230V PSL



Mains voltage variations – 400V PSL



Guidance for luminaire manufacturers

Lamp operating temperature limits

Watts	250	400	600	750
Clear Tubular				
Max. Bulb Temperature	400 °C	400 °C	410 °C	410 °C
Max. Cap Temperature	250 °C	250 °C	250 °C	250 °C

Luminaire voltage rise

To maximize lamp life it is essential that luminaires are designed so that when lamps are enclosed lamp voltage rise does not exceed the following values:

Watts	250	400	600	750
Clear Tubular				
Voltage Rise (V)	12	12	12	12

Ballasts

To achieve correct lamp starting, performance and life, it is important that the lamp and ballast are compatible and suitably rated for the supply voltage at the luminaire.

Lucalox™ PSL lamps comply with IEC62035 (HID Lamp Safety) standards. Ballasts used to operate these lamps should comply with ballast standards IEC60922 & IEC60923 and incorporate adequate overload protective measures to ensure that safety is maintained under abnormal lamp end-of-life rectification conditions as prescribed by IEC62035 and draft changes to luminaire standard EN60598-1. Ballast thermal protection is recommended for providing adequate protection.

Ballast voltage adjustment — For series choke (reactor) ballasts a single additional tapping 10V (230V line voltage) or 20V (400V line voltage) above the rated supply voltage are recommended. This will ensure lamps are not over loaded due to excessive supply voltage.

PFC capacitors for choke (reactor) circuits

Power Factor Correction is advisable in order to minimise supply current and electricity costs. For 220-250V supplies, 250V nominal voltage rated capacitors with ±10% capacitance tolerance are recommended. For 400V supplies 450V voltage rated capacitance are recommended as follows:

Watts	LU250W/PSL	LU400W/PSL	LU600W/PSL	LU750W/PSL	LU400V/600W/PSL	LU400V/750W/PSL
Ballast Impedance (V/A)	60	40.9	29.7	24.2	87.5	71
PFC Capacitor (µF)	30	50	60	60	20	22.5

Ignitors

Ignitors should comply with specifications IEC60926 and IEC60927 and have starting pulse characteristics as follows:

Watts	Min. Pulse Voltage [kV] ¹	Max. Pulse Voltage [kV] ²	Min. Pulse Width [kV] ³	Min. Pulse Repetition Rate ⁴
250	3.3	5.0	1.95	1/ cycle
400	3.3	5.0	1.95	1/ cycle
600	4.0	5.0	1.95	1/ cycle
750	3.3	5.0	1.95	1/ cycle

¹When Loaded with 100 pF min.
²When Loaded with 20 pF max.

³At 90 % peak voltage
⁴ Pulse Inverse Angle 90-90° and/or 240-270° at

Recommended ignitors for the 400V line voltage systems:

- Tridonic ZRM-ES/B 400, Bag Turgi 400 NI 2000
- UE Philips SN 88 T5

Timed ignitors

Use of a "timed" or "cut-out" ignitor is not a specific requirement, but it is a good optional safety feature for the installation. The timed period must be adequate to allow lamps to cool and restart when the supply is interrupted briefly (see "Hot re-strike time"). A period of 10 minutes continuous or intermittent operation is recommended before the ignitor is automatically switched off. Commercially available 10/11 minute timed ignitors are suitable.

Cable between ignitor and lamp

Cables connected between the lamp and a superimposed ignitor "Lp" terminal, or the ballast when using an impulsor ignitor, must be rated at a minimum 50/60Hz voltage of 1000V. Mineral-insulated cables are not suitable for connecting the lamp to the control gear.

To achieve good starting superimposed ignitors must be adjacent to the luminaire. Cable capacitance of wiring between the ignitor "Lp" terminal and the lamp should not exceed 100pF (<1 metre length) when measured to adjacent earthed metal and/or other cables, unless otherwise stated by the ignitor manufacturer. When using impulsor type ignitors, longer cable lengths between ballast and lamp are normally permissible. Limits for particular ignitors are available directly from the ignitor manufacturer.

Certificate



GE Lighting is constantly engaged in the global quality process. A statistical quality system designated SIX SIGMA is applied across the board in all areas of the company from manufacturing through to sales.

Application area



Horticulture

Caution



Special purpose lamps.
Not suitable for household illumination.

www.gelighting.com/eu

 and General Electric are both registered trademarks of the General Electric Company.

GE Lighting is constantly developing and improving its products. For this reason, all product descriptions in this brochure are intended as a general guide, and we may change specifications time to time in the interest of product development, without prior notification or public announcement. All descriptions in this publication present only general particulars of the goods to which they refer and shall not form part of any contract. Data in this guide has been obtained in controlled experimental conditions. However, GE Lighting cannot accept any liability arising from the reliance on such data to the extent permitted by law. Lucalox® HSE Data Sheet - August 2011

HPS - Serres Ovation



MASTER SON-T PIA Plus

MASTER SON-T PIA Plus 600W/220 E40 15L

High Pressure Sodium lamp with clear tubular outer bulb, high output and long reliable lifetime.

Product data

• General Characteristics

System Description	External Ignitor
Cap-Base	E40
Cap-Base Information	-
Bulb	T46 [T 46mm]
Bulb Finish	Clear
Operating Position	any [Any or Universal (U)]
Life to 5% failures	12000 hr
Life to 10% failures	15000 hr
Life to 20% failures	20000 hr
Life to 50% failures	30000 hr

• Light Technical Characteristics

Color Code	220 [CCT of 2000K]
Color Rendering Index	25 (max) RaB
Color Temperature	2000 K
Luminous Flux EM	90000 Lm
25°C, Rated	
Luminous Efficacy	148 Lm/W
Lamp EM	
Lumen Maintenance	96 %
2000h	
Lumen Maintenance	90 %
5000h	
Lumen Maintenance	77 %
20000h	
Chromaticity Coordinate X	526 -
Chromaticity Coordinate Y	424 -

• Electrical Characteristics

Lamp Wattage	600 W
--------------	-------

Lamp Wattage EM	600.0 W
25°C, Nominal	
Lamp Wattage EM	605.0 W
25°C, Rated	
Voltage	230 V
Lamp Voltage	115 V
Lamp Current EM	5.8 A
Ignition Time	10 (max) s
Run-up time 90%	5 (max) min
Dimmable	No
Re-ignition Time [sec]	60 (max) s
Ratio scotopic/ photopic lumens	0.60 -

• Environmental Characteristics

Energy Efficiency Label (EEL)	A++
Mercury (Hg) Content	24 mg
Energy consumption kWh/1000h	665 kWh

• Luminaire Design Requirements

Cap-Base Temperature	230 (max) C
Bulb Temperature	450 (max) C

• Product Dimensions

Overall Length C	283 (max) mm
Diameter D	47 (max) mm
Light Center Length L	174.2 mm
Arc Length O	126 mm

PHILIPS

MASTER SON-T PIA Plus

Product Data

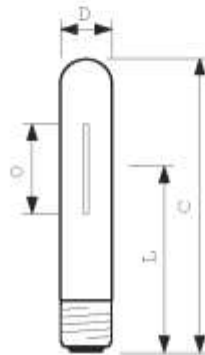
Order code 928158409227
 Full product code 928158409217
 Full product name MASTER SON-T PIA Plus 600W/220 E40 15L
 Order product name MST SON-T PIA Plus 600W/220 E40 15L/12
 Pieces per pack 1

Padding configuration 12
 Packs per outerbox 12
 Bar code on pack - EAN1 8711500197429
 Bar code on outerbox - EAN3 8711500197436
 Logistic code(s) - 12NC 928158409227
 ILCOS code ST-600-H/S-E40
 Net weight per piece 0.177 kg

Warnings and Safety

Control gear must include end-of-life protection (IEC60662, IEC 62035)

Dimensional drawing



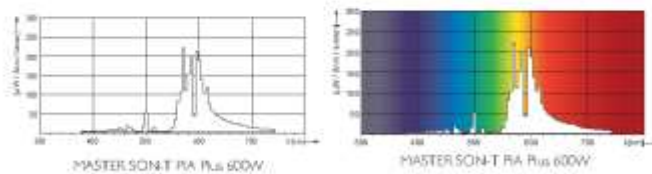
MASTER SON-T PIA Plus 600W/220 E40 15L

Product	C (Max)	D (Max)	L (Norm)	C (Norm)
SON-T Plus 600W/220 E40	380	47	1742	126



E40

Photometric data



2013, October 9
 data subject to change



© 2013 Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips)
All rights reserved.

Specifications are subject to change without notice. Trademarks are the property of Koninklijke Philips N.V. (Royal Philips) or their respective owners.

www.philips.com/lighting

2013, October 9
data subject to change

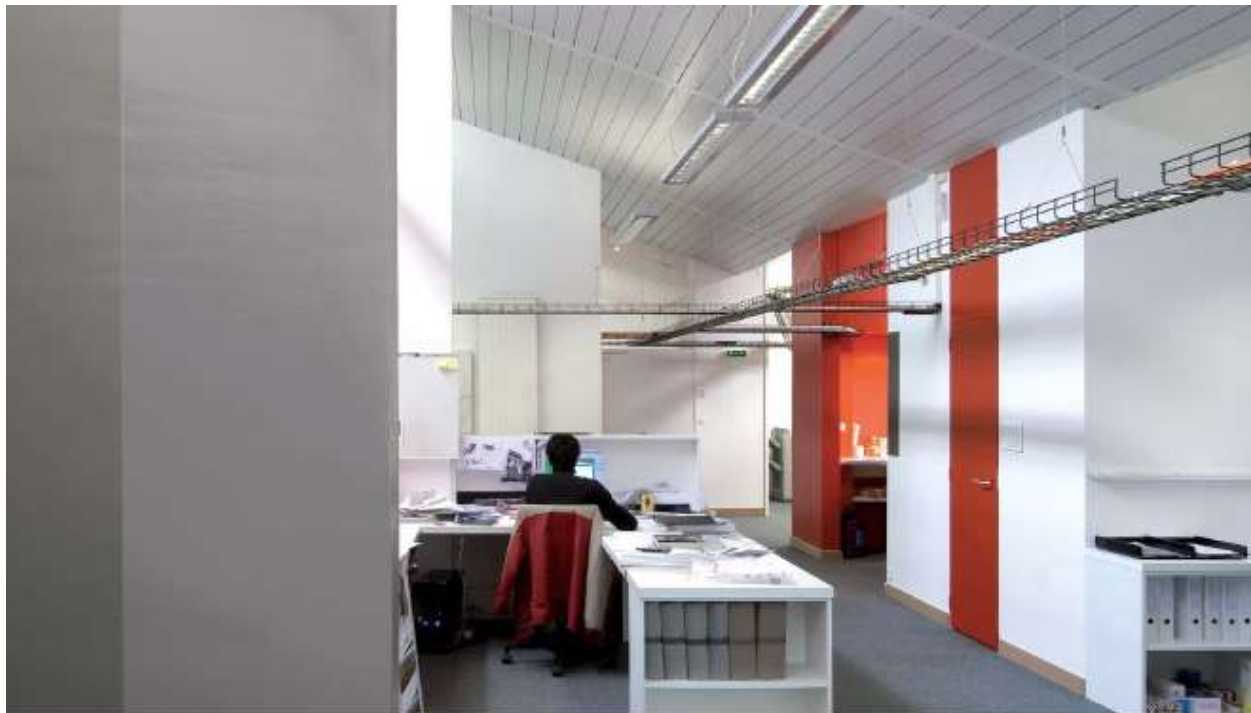
Réflecteur HPS : Les Serres Lefort et Serres Ovation



MIRO®

Unschlagbar energieeffizient und ökologisch sinnvoll
Unbeatably energy-efficient and ecologically sound





MIRO®

Verlässlichkeit für nachhaltige Lösungen
Reliability for sustainable solutions

ALANOD bietet seit Mitte der 90er Jahre eine breite Standardproduktpalette von MIRO®-Oberflächen an, die mit erstmals 95% Lichtgesamreflexion den Standard lichttechnischer Systeme neu definiert haben.

Gezielt eingesetzte MIRO®-Oberflächen lassen keine Wünsche an das Reflexionsverhalten offen. Dabei bieten wir sowohl isotropes als auch anisotropes Reflexionsverhalten bei unterschiedlichem Anteil an diffuser/ gerichteter Reflexion und unterschiedlichem Glanzgrad an. Ob matt oder glänzend, MIRO-Oberflächen bieten immer eine Lichtgesamreflexion von 94 - 95%.

Bei der Auswahl des richtigen Materials beraten wir Sie gerne.

In the mid-90s, ALANOD began to offer a wide range of standard MIRO® surfaces. With a total reflectivity of 95%, these surfaces for the first time redefined the standard of lighting technology systems.

Used purposefully, MIRO® surfaces leave nothing to be desired in terms of reflection characteristics. Our range includes both isotropic and anisotropic reflectance distributions with varying degrees of diffuse/specular reflection and different brightness levels. Matt as well as brightened MIRO surfaces always offer a total reflectivity of 94 to 95%.

Ask us for advice on the right choice of material.



MIRO®

Steigert die Beleuchtungseffizienz und reduziert die Umweltbelastung
Increases lighting efficiency and reduces carbon footprint

Ca. 19% des weltweiten Konsums elektrischer Energie wird für Beleuchtung genutzt.

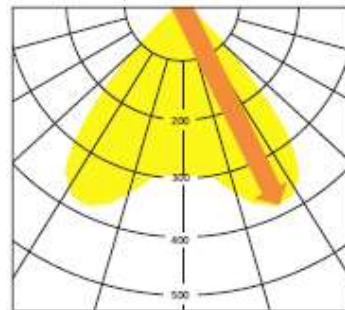


About 19% of the world-wide electricity consumption is used for lighting.

19% entsprechen ungefähr 2713 Milliarden KWh! Das entspricht 1404 Milliarden Tonnen CO₂. Können wir es uns erlauben Einsparmöglichkeiten von 10% - 20% allein durch effizientere Reflektoroberflächen nicht zu nutzen?

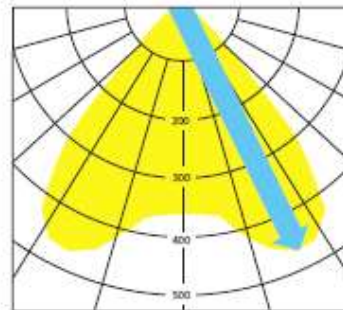


19% correspond to about 2713 Billion KWh! Equivalent to 1404 billion tonnes CO₂. Can we afford to ignore a saving potential between 10% to 20% by simply not using more efficient reflector surfaces?



LOR (η) 69%

Standard anodisiert –
 das Material der Vergangenheit
*Standard anodised –
 the material of the past*



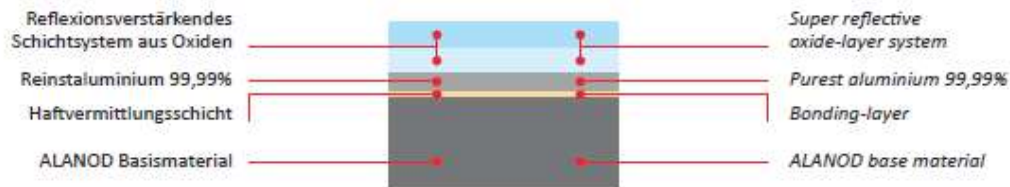
LOR (η) 83% | + 20%*

MIRO® – optimierte Reflexion
 MIRO® – enhanced reflectance

Energieeinsparung ca. 20% durch MIRO | *energy saving ca. 20% by using MIRO*

MIRO® Schichtaufbau | Layer System

Anodisiertes Aluminiumband PVD-beschichtet und reflexionsverstärkt
Anodized aluminium strip PVD-coated, with reinforced reflection



* verglichen mit anodisiertem Aluminium | * related to anodized Aluminium

MIRO®

Oberflächen-Streuecharakteristik | *Surface scattering property*

Im Folgenden werden die Streueigenschaften unserer Oberflächen sowie topographische Aufnahmen unserer Oberflächen unter dem Mikroskop gezeigt.

Bei der Aufnahme der Streueigenschaften wurden die Proben unter einem Einfallswinkel von 45° beleuchtet. In Richtung des Ausfallswinkels von 45° wurde eine Mattscheibe aufgestellt und das Bild mit einer Digitalkamera aufgenommen.

Diese Aufnahmen in Verbindung mit den vergrößerten Aufnahmen der Oberflächen-Topographie erlauben eine erste Abschätzung der lichttechnischen Eigenschaften unserer Oberflächen.

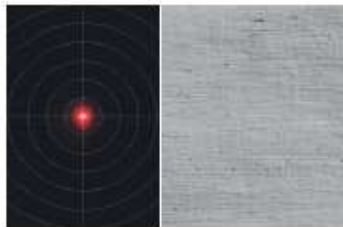
The following demonstrates the scattering property of our surfaces along with topographic images of our surfaces under the microscope.

In order to take these photos, the samples were exposed using an incident angle of 45°. A diffusing screen was set up in the direction of the reflection angle of 45° and the photo taken using a digital camera.

These photos in conjunction with the enlarged images of the surface topography allow an initial assessment of the photometric properties of our surfaces.

MIRO® 2 | 4200 GP

- > hochglanz Oberfläche mit geringer Diffus-Reflexion < 5%, keine Vorzugsrichtung
- > optische Spiegelwirkung
- > hoher Glanzgrad

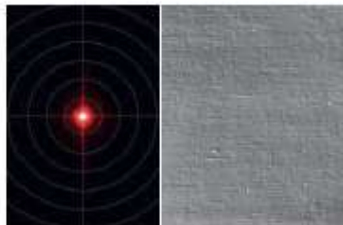


MIRO® 2 | 4200 GP

- > highgloss surface with low diffuseness < 5%, no preferential direction
- > optical mirror effect
- > high brightness

MIRO® 27 | 4270 GP

- > hochglanz Oberfläche mit geringer Diffus-Reflexion < 6%, minimale Vorzugsrichtung
- > optische Spiegelwirkung
- > hoher Glanzgrad

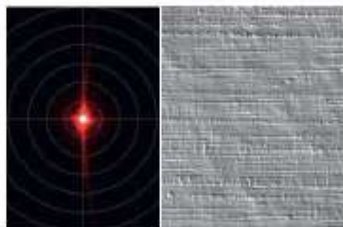


MIRO® 27 | 4270 GP

- > highgloss surface with low diffuseness < 6%, very low preferential direction
- > optical mirror effect
- > high brightness

MIRO® 4 | 4400 GP

- > hochglanz Oberfläche mit geringer Diffus-Reflexion < 12%, geringe Vorzugsrichtung
- > optische Spiegelwirkung
- > hoher Glanzgrad

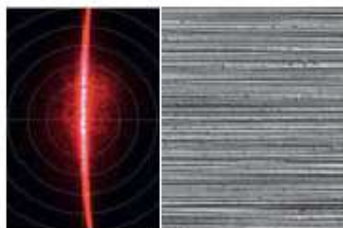


MIRO® 4 | 4400 GP

- > highgloss surface with low diffuseness < 12%, low preferential direction
- > optical mirror effect
- > high brightness

MIRO® 5 | 5011 GP

- > Millfinish-Oberfläche mit starker Vorzugsrichtung
- > hoher Diffus-Anteil 80 - 90 %

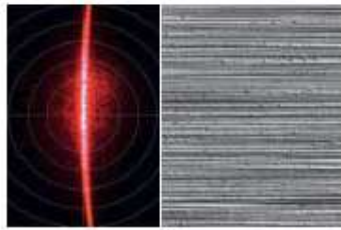


MIRO® 5 | 5011 GP

- > millfinish surface with strong preferential direction
- > high diffuse reflection value 80 - 90 %

MIRO[®] 5 | 5013 GP

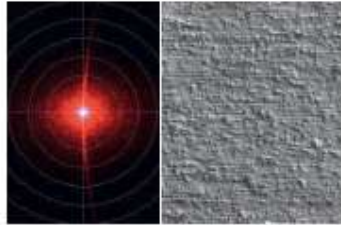
- > Millfinish-Oberfläche mit starker Vorzugsrichtung,
- > nahezu rein diffus reflektierend
- > weißes Erscheinungsbild durch Magnesiumanteil im Substrat

**MIRO[®] 5 | 5013 GP**

- > millfinish surface with strong preferential direction
- > nearly diffuse reflection
- > white appearance by the magnesium alloy in the substrate

MIRO[®] 6 | 6000 GP

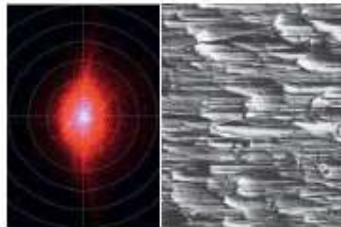
- > Semimatte-Oberfläche diffuse Reflexion ca. 50 %, nahezu keine Vorzugsrichtung

**MIRO[®] 6 | 6000 GP**

- > semi specular surface with a diffuse reflection about 50%, nearly no preferential direction

MIRO[®] 7 | 5000 GP

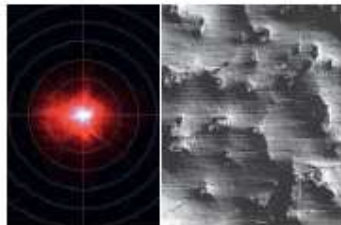
- > Reflektormatt-Oberfläche, hoher Diffus-Anteil $\rho_d = 84 - 90 \%$.
- > Vorzugsrichtung: auch in und gegen die Walzrichtung

**MIRO[®] 7 | 5000 GP**

- > reflector mat surface, high diffuse reflection value $\rho_d = 84 - 90 \%$.
- > preferential direction: also with and against the rolling direction

MIRO[®] 8 | 5100 GP

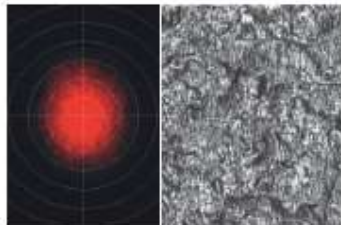
- > Lumenalmatt-Oberfläche, mit einer diffusen Reflexion von ca. 60 - 75 %, keine Vorzugsrichtung,
- > hoher Glanzgrad

**MIRO[®] 8 | 5100 GP**

- > luminal mat surface, with a diffuse reflection value about 60 - 75%, no preferential direction
- > high brightness

MIRO[®] 20 | 2000 GP

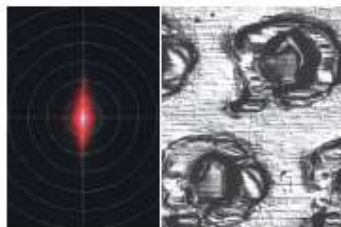
- > Scattergloss Oberfläche mit rein diffuser Reflexion, ohne Vorzugsrichtung
- > zunehmender Glanzgrad mit flacher werdendem Einfallswinkel

**MIRO[®] 20 | 2000 GP**

- > scattergloss surface with complete diffuse reflection value, without preferential direction
- > increasing brightness value at lower incident angles

MIRO[®] 85 | 8510 GP

- > Erotex Oberfläche mit geringer diffuser Reflexion bei nahezu senkrechtem Lichteinfall
- > abnehmender Glanzgrad bei flachen Einfallswinkeln sorgt für weißes Erscheinungsbild des Materials in der Leuchte

**MIRO[®] 85 | 8510 GP**

- > erotex surface with low diffuse reflection values at near vertical angles of incidence
- > decreasing brightness values at flat angles follow up to a white appearance of the material in the louver

MIRO®

Optische Werte | optical values

Produkt Product	Qualität Quality	Licht-Gesamtreflexion Total Reflection % DIN 5036-3 ASTM-E 1651	Diffuse Reflexion Diffuse Reflection % DIN 5036-3	Glanzgrad Brightness 60° längs / along ISO 7668	Glanzgrad Brightness 60° quer / across ISO 7668	Reflector material efficiency class
MIRO 2 Hochglänzend Extra bright rolled	4200 GP	≥ 95	≤ 5	91	91	A
MIRO 27 Hochglänzend Extra bright rolled	4270 GP	≥ 95	≤ 6	91	90	A
MIRO 4 Hochglänzend Extra bright rolled	4400 GP	≥ 95	≤ 12	89	88	A
MIRO 5 Reflektor Diffus Reflector diffuse	5011 GP	≥ 94	80 - 90	60 - 75	25 - 50	A
MIRO 5 Millifinish Millifinish	5013 GP	≥ 94	≥ 93	35 - 55	10 - 30	A
MIRO 6 Semispecular Semispecular	6000 GP	≥ 94	40 - 58	68 - 82	66 - 80	A
MIRO 7 Reflektor Matt Reflector mat	5000 GP	≥ 94	84 - 90	72 - 78	55 - 65	A
MIRO 8 Luminal Matt Luminal mat	5100 GP	≥ 94	60 - 67	82 - 84	82 - 84	A
MIRO 20 Scattergloss Scattergloss	2000 GP	≥ 94	≥ 94	ca. 20	ca. 25	A
MIRO 85 Erotext Erotext	8510 GP	≥ 94	n.m.	n.m.	n.m.	A
MIRO 85 Micro Matt Micro Matt	8516 GP	≥ 93	n.m.	n.m.	n.m.	A
MIRO 9 Hammerschlag medium hammered pattern medium	9033 GP	≥ 94	n.m.	n.m.	n.m.	A
MIRO 9 Hammerschlag grob hammered pattern large	9036 GP	≥ 94	n.m.	n.m.	n.m.	A
MIRO 9 Stucco Stucco	9040 GP	≥ 94	n.m.	n.m.	n.m.	A

Reflector material efficiency class	Highgloss $\rho_D < 30^\circ$ %	Diffuse
A+	97,0 - 100 %	97,0 - 100 %
A	94,0 - 96,9 %	93,0 - 96,9 %
B	87,0 - 93,9 %	85,0 - 92,9 %
C	85,0 - 86,9 %	82,0 - 84,9 %
D	< 85 %	< 82 %

Anwendungen | Applications



Bildnachweis | Picture proof:
3 F Filippi S.A., Pian di Macine Pianoro/ Italy | Energy Planing Associates of Sanford Florida/ USA | ETAP Beleuchtung, Leverkusen/ Germany
KEC-Kretschmer Energie-Consulting GmbH, Peine/ Germany | Leenders Photography, Düsseldorf/ Germany | Racine Metal-Fab Ltd., Racine, Wisconsin/ USA
Reflective Concepts Inc., Kenosha, Wisconsin/ USA

ALANOD GmbH & Co. KG
Egerstr. 12 · 58256 Ennepetal · Germany
Tel. +49 23 33 9 86-500 · Fax +49 23 33 9 86-555
info@alanod.de · www.alanod.com

ALANOD Ltd. · Chippenham Drive · Kingston
Milton Keynes MK10 0AN – United Kingdom
Tel. +44 1908 282044 · Fax +44 1908 282032
info@alanod.co.uk · www.alanod.co.uk



Annexe 7 : Caractéristiques de l'éclairage DEL chez Les Serres Lefort et Serres Ovation

DEL : TI SmartBar (sans système de refroidissement à l'eau)

Les Serres Lefort

Un luminaire avait 6 circuits de 18 DEL chacun. Les DEL de ce luminaire émettent 58 $\mu\text{mol}/\text{sec}$ pour un total de 348 $\mu\text{mol}/\text{sec}$ par barre de 12 pieds de long et une radiation/ λ de 11,256 W/circuit ou un total de 67,536 W par barre de 12 pieds de long.

Serres Ovation

Un luminaire avait 5 circuits de 30 DEL chacun. Les DEL de ce luminaire émettent 97 $\mu\text{mol}/\text{sec}$ pour un total de 485 $\mu\text{mol}/\text{sec}$ par barre de 8 pieds de long et une radiation / λ de 19,158 W/circuit ou un total de 95,790 W par barre de 8 pieds de long.

Lentille (DEL) : Les Serres Lefort et Serres Ovation



Products ▾ Light Engines Media ▾ Optic Types ▾ Where To Buy ▾ Contact Us

✉ sales@carclo-optics.com

☎ +44 1753 575 011

10.0mm Elliptical Ripple Linear TIR (10415)



Part no.	10415
Drawing no.	60518
Family	10mm
Type	TIR
Diameter	10.0
Beam	Elliptical
Finish	Ripple Linear



LEDs & Performances

Manu.	LED	Eff.	FWHM	Cd/lm	Spot	Cross section	.IES File
	Lumileds Luxeon Rebel ES White	83.00	44 x 24.4	2.50			

Annexe 8 : Les Serres Lefort - Localisation et identification des plateaux choisis pour la prise des données lumière et agronomique

Note


Le lecteur trouvera sur les schémas suivants un icône représenté par un soleil :







Les capteurs de la compagnie Onset Computer (Hobo) étaient localisés à ces endroits. On y retrouvait : un capteur de lumière, un capteur de température aérienne ou encore un capteur de température aérienne/humidité et deux capteurs de température pour le substrat⁴².

⁴² Sur des plateaux différents.

Tableau H.1 - Identification des plateaux du lot 1 - Serre 36

HPS																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
					TE1											TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

DEL																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
					TE1											TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

Témoïn serre36																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
					TE1											TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		




	plateau pour mesurage agronomique		Station météo
	Plateau près de la gouttière déplacé le 27-février		

Tableau H.2 - Identification des plateaux du lot 2 - Serre 36

HPS											DEL											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
					TE1											TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

Témoins serre36																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
					TE1											TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

	plateau pour mesurage agronomique		Station météo
	Plateau déplacé		

Tableau H.3 - Identification des plateaux du lot 1 - Serre 37

HPS																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
				TE1												TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

DEL																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
				TE1												TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

Témoins serre 37																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
				TE1												TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

	plateau pour mesurage agronomique											Station météo									
	Plateau près de la gouttière déplacé le 27-février																				

Tableau H.4 - Identification des plateaux du lot 2 - Serre 37

HPS											DEL											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
				TE1												TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

Témoins serre 37																						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	11	21	31	41	51	61	71	81	91	Allée	101	111	121	131	141	151	161	171	181	191	201	
2	12	22	32	42	52	62	72	82	92		102	112	122	132	142	152	162	172	182	192	202	
3	13	23	33	43	53	63	73	83	93		103	113	123	133	143	153	163	173	183	193	203	
4	14	24	34	44	54	64	74	84	94		104	114	124	134	144	154	164	174	184	194	204	
5	15	25	35	45	55	65	75	85	95		105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	
				TE1												TE2						
6	16	26	36	46	56	66	76	86	96		106	116	126	136	146	156	166	176	186	196	206	
7	17	27	37	47	57	67	77	87	97		107	117	127	137	147	157	167	177	187	197	207	
8	18	28	38	48	58	68	78	88	98		108	118	128	138	148	158	168	178	188	198	208	
9	19	29	39	49	59	69	79	89	99		109	119	129	139	149	159	169	179	189	199	209	
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210		

	plateau pour mesurage agronomique		Station météo
	Plateau déplacé		

Annexe 9 : Spécifications du capteur de lumière Li-Cor : Li-193

The LI-193 Underwater Spherical Quantum Sensor gives an added dimension to underwater PAR measurements as it measures photon flux from all directions. This measurement is referred to as Photosynthetic Photon Flux Fluence Rate (PPFFR) or Quantum Scalar Irradiance. This is important, for example, when studying phytoplankton, which utilize radiation from all directions for photosynthesis.

LI-193SA SPECIFICATIONS

Absolute Calibration: $\pm 5\%$ in air traceable to NBS.

Sensitivity: Typically $7 \mu\text{A}$ per $1000 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ in water.

Linearity: Maximum deviation of 1% up to $10,000 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$.

Stability: $< \pm 2\%$ change over a 1 year period.

Response Time: $10 \mu\text{s}$.

Temperature Dependence: $\pm 0.15\%$ per $^{\circ}\text{C}$ maximum.

Angular Response: $< \pm 4\%$ error up to $\pm 90^{\circ}$ from normal axis (see Figure 3).

Azimuth: $< \pm 3\%$ error over 360° at 90° from normal axis.

Detector: High stability silicon photovoltaic detector (blue enhanced).

Sensor Housing: Corrosion resistant metal for both saltwater and freshwater applications with an injection molded, impact resistant, acrylic diffuser. Units have been tested to 500 psi (3400 kPa) (350 meters) with no failures.

Size

Globe: 6.1 cm Dia. ($2.4''$).

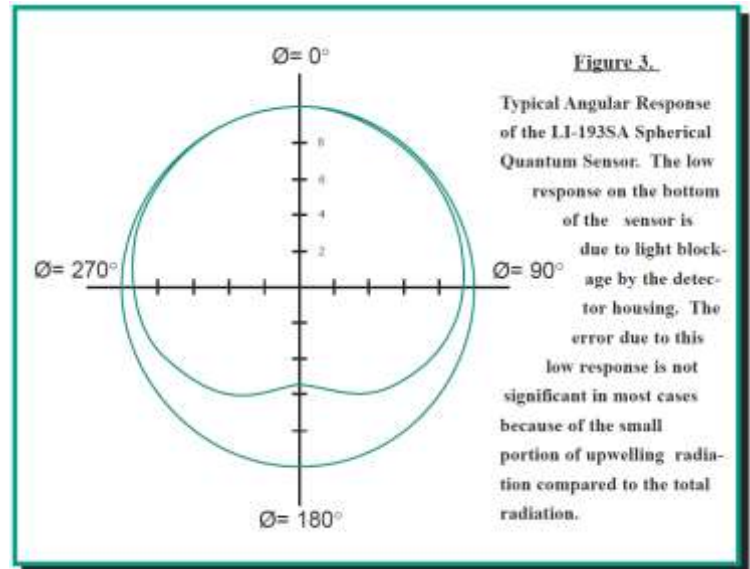
Housing: 3.18 cm Dia. ($1.25''$).

Overall Height: 10.7 cm ($4.2''$).

Weight: 142 g (0.31 lbs.).

Mounting: Three 6-32 mounting holes are tapped into the base for use with the 2009S Lowering Frame or other mounting devices.

Cable: Requires 2222UWB Underwater Cable.



Annexe 10 : Les Serres Lefort - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer la répartition de la lumière des serres 36 et 37, et des lots 1 et 2 (début et fin)

Tableau J.1 - Répartition de la lumière : serre 36 - Lot 1 (début : 27 février 2013)

Greenhouse 36 set up #1				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	LED/HPS
Average	66,5	58,0	4,6	-13%
Max	78,1	69,6	7,2	s.o.
Min	52,8	52,9	3,6	s.o.
STD	8,8	3,9	1,0	s.o.
STD in %	13%	7%	21%	-50%

Tableau J.2 - Répartition de la lumière : serre 36 - Lot 1 (fin : 19 mars 2013)

Greenhouse 36 set up #1				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	LED/HPS
Average	63,7	58,0	4,7	-9%
Max	74,7	70,2	6,0	s.o.
Min	51,7	52,9	3,7	s.o.
STD	7,8	4,8	0,7	s.o.
STD in %	12%	8%	15%	-33%

Tableau J.3 - Répartition de la lumière : serre 36 - Lot 2 (début : 19 mars 2013)

Greenhouse 36 set up #2				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	LED/HPS
Average	62,4	59,8	4,6	-4%
Max	75,5	66,2	6,1	s.o.
Min	50,2	53,4	3,8	s.o.
STD	8,5	4,4	0,7	s.o.
STD in %	14%	7%	15%	-47%

Tableau J.4 - Répartition de la lumière : serre 36 - Lot 2 (fin : 9 avril 2013)

Greenhouse 36 set up #2				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	LED/HPS
Average	64,9	57,9	3,4	-11%
Max	77,0	65,3	6,6	s.o.
Min	48,3	51,2	2,0	s.o.
STD	10,4	5,0	1,1	s.o.
STD in %	16%	9%	34%	-47%

Tableau J.5 - Répartition de la lumière : serre 37 - Lot 1 (début : 27 février 2013)

Greenhouse 37 set up #1				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	
Average	61,8	57,1	3,3	-8%
Max	75,9	78,4	5,9	s.o.
Min	41,3	47,2	2,3	s.o.
STD	8,8	3,9	1,0	s.o.
STD in %	14%	7%	31%	-52%

Tableau J.6 - Répartition de la lumière : serre 37 - Lot 1 (fin : 19 mars 2013)

Greenhouse 37 set up #1				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	
Average	59,8	56,8	3,3	-5%
Max	75,3	76,2	4,4	s.o.
Min	40,7	44,2	2,3	s.o.
STD	10,5	9,1	0,7	s.o.
STD in %	18%	16%	21%	-9%

Tableau J.7 - Répartition de la lumière : serre 37 - Lot 2 (début : 19 mars 2013)

Greenhouse 37 set up #2				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	
Average	63,0	56,1	3,4	-11%
Max	76,6	71,5	7,2	s.o.
Min	48,8	47,0	2,0	s.o.
STD	9,1	7,5	1,3	s.o.
STD in %	14%	13%	36%	-7%

Tableau J.8 - Répartition de la lumière : serre 37 - Lot 2 (fin : 9 avril 2013)

Greenhouse 37 set up #2				Difference
Treatment	HPS	LED	Control	
Average	66,1	57,2	4,3	-13%
Max	76,8	70,6	7,2	s.o.
Min	52,7	49,0	3,1	s.o.
STD	8,7	7,6	1,4	s.o.
STD in %	13%	13%	32%	0%

Annexe 11 : Serres Lefort - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des serres 36 et 37

Date : 19 juin 2013

Serres Lefort - Serre 36

Licore multiplicateur : 144

Localisation	Parcelle	Heure	Flux photonique		Taux de transmission de lumière
			Intérieur	Extérieur	
			$\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$		%
Extérieure		11:23		2 385	
36 Ouest	DEL	11:18	1 491		62,5%
36 Ouest	DEL	11:29	1 532		64,2%
36 Est	DEL	11:31	1 518		63,6%
Moyenne - Serre 36 - Parcelle DEL :			1 514	2 385	63,5%

Taux de transmission le lumière - Serre 36 (valeur ajustée de -7,0%) : 56,5%

Date : 19 juin 2013

Serres Lefort - Serre 37

Licore multiplicateur : 144

Localisation	Parcelle	Heure	Flux photonique		Taux de transmission de lumière
			Intérieur	Extérieur	
			$\mu\text{mole}/\text{m}^2/\text{sec}$		%
Extérieure		11:47		2 365	
37 est	DEL	11:44	1 501		63,5%
37 ouest	DEL	11:45	1 506		63,7%
Moyenne - Serre 37 - Parcelle DEL :			1 504	2 365	63,6%

Taux de transmission le lumière - Serre 37 (valeur ajustée -6,1%) : 57,5%

Il faut réduire le % de transmission de lumière d'environ 6 % à 9 % pour tenir compte de l'effet des structures, des équipements, etc. La méthodologie utilisée les réduit au minimum. La serre 36 est jugé plus affecté par la structure de la serre, d'où une réduction un peu plus élevée.

Annexe 12 : Les Serres Lefort - Serres 36 et 37, lots 1 et 2 - Bilan de lumière

Ces bilans ont servi à effectuer le bilan du flux photonique cumulé dans le PAR selon la serre et le lot.

Les lectures des données PRIVA est notre référence pour évaluer la lumière reçue dans les serres 36 et 37. En tenant compte des valeurs du Li-Cor qui ont été calibrées et ajustées, les données PRIVA lisent une valeur réelle plus élevée que la réalité. Ainsi, les valeurs PRIVA ont été ajustées à la baisse lors des évaluations. En fonction des heures d'éclairage, la lumière émise par les HPS et les DEL a été ajoutée pour obtenir le cumulé de la journée (mol m⁻² j⁻¹). Le jour (j) représente 24 h.

Le facteur de correction du Li-Cor provient d'un certains nombres de lecture du Li-Cor à une heure proche du Zénith lors de journée pleinement ensoleillée. Les lectures originales ont été prises avec le Li-Cor qui avait pour son multiplicateur une valeur de -144. Suite à une série de vérification pour vérifier la justesse de ce multiplicateur avec les données de ClearSky (8 vérifications aux dates suivantes : 27 et 31 mai, 12, 14 et 4 mesures le 19 juin), il a été jugé que le svaleurs obtenus lors des lectures de l'éclairage artificiel étaient surévalué il fallait les corriger par un facteur de 0,800 (voir la cellule du tableau suivant : Correction de la lecture Li-Cor).

Le facteur de conversion des Watt à μmol a été évalué à partir du « Clear Sky Calculator⁴³ » en la date du 19 juin 2013 pour le site de Les Serres Lefort ($2,064 \mu\text{mol/W} = 1894 \mu\text{mol} / 879 \text{ W}$).

⁴³ www.clearskycalculator.com

Serre 36 - Paramètres évalués et utilisés

Transmission serre 36	56,5%	Transmission serre 37	57,5%	Correction pour le capteur priva ext.:	1,000	Conversion Watt à μmol dans le PAR pour la lumière extérieure	2,064	
Flux photonique cumulé par h ($\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	HPS	0,185	DEL	0,168	Correction de la lecture du Licore:			0,800
Intensité (Li-Cor) 4 lectures 26 positions $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	64,4	DEL	58,4	Témoin	4,3	Ratio HPS/DEL	1,10
Intensité corrigée du Licore $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	51,5	DEL	46,7	Témoin	3,5		

Bilan de lumière - Les Serres Lefort : serre 36, lot 1 (16 février au 12 mars 2013)

DATE 2013	Flux photonique cumulé dans le PAR ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1}$) (par jour complet)							% en plus par EA* par rapport au		Heures éclairées /j	# jours
	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	*Total Témoin	HPS	DEL		
<i>Serre 36, lot 1 - Du 16 février 0h00 au 12 mars à 9h30</i>	17,75	10,03	3,13	2,84	13,15	12,86	10,30	27,7	24,9	16,9	24,2
	<i>* 7,2% de l'éclairage HPS ont été ajoutés au témoin. La contribution relative de l'éclairage artificiel se fait donc par rapport à la colonne Total Témoin.</i>										
16-févr	28,15	15,90	0,19	0,17	16,09	16,07	16,09	0,0	-0,1	1,0	1,0
17-févr	18,99	10,73	1,48	1,35	12,21	12,07	12,21	0,0	-1,1	8,0	1,0
18-févr	30,51	17,24	3,34	3,03	20,57	20,26	17,46	17,8	16,1	18,0	1,0
19-févr	11,24	6,35	3,34	3,03	9,69	9,38	6,57	47,3	42,7	18,0	1,0
20-févr	14,39	8,13	3,34	3,03	11,47	11,16	8,35	37,3	33,6	18,0	1,0
21-févr	16,29	9,20	3,34	3,03	12,54	12,23	9,43	33,0	29,8	18,0	1,0
22-févr	16,00	9,04	3,34	3,03	12,38	12,07	9,26	33,6	30,3	18,0	1,0
23-févr	4,85	2,74	3,34	3,03	6,08	5,77	2,96	105,0	94,6	18,0	1,0
24-févr	6,36	3,59	3,34	3,03	6,93	6,62	3,82	81,6	73,5	18,0	1,0
25-févr	11,15	6,30	3,34	3,03	9,64	9,33	6,53	47,7	43,0	18,0	1,0
26-févr	22,08	12,48	3,34	3,03	15,81	15,51	12,70	24,5	22,1	18,0	1,0
27-févr	6,62	3,74	3,34	3,03	7,07	6,77	3,96	78,6	70,8	18,0	1,0
28-févr	12,76	7,21	3,34	3,03	10,55	10,24	7,43	41,9	37,7	18,0	1,0
01-mars	15,77	8,91	3,34	3,03	12,25	11,94	9,14	34,1	30,7	18,0	1,0
02-mars	17,84	10,08	3,34	3,03	13,42	13,11	10,30	30,2	27,2	18,0	1,0
03-mars	22,63	12,79	3,34	3,03	16,13	15,82	13,01	23,9	21,6	18,0	1,0
04-mars	16,66	9,42	3,34	3,03	12,75	12,44	9,64	32,3	29,1	18,0	1,0
05-mars	18,98	10,72	3,34	3,03	14,06	13,75	10,95	28,4	25,6	18,0	1,0
06-mars	23,08	13,04	3,34	3,03	16,38	16,07	13,26	23,5	21,1	18,0	1,0
07-mars	10,99	6,21	3,34	3,03	9,55	9,24	6,43	48,4	43,6	18,0	1,0
08-mars	33,48	18,92	3,34	3,03	22,25	21,95	19,14	16,3	14,7	18,0	1,0
09-mars	35,55	20,09	3,34	3,03	23,42	23,12	20,31	15,3	13,8	18,0	1,0
10-mars	21,99	12,43	3,34	3,03	15,76	15,45	12,65	24,6	22,2	18,0	1,0
11-mars	12,74	7,20	3,34	3,03	10,53	10,23	7,42	41,9	37,8	18,0	1,0
12-mars	0,34	0,19	0,56	0,50	0,75	0,70	0,23	226,8	204,3	3,0	0,2
Total pour la période du bilan agronomique, lot 1	429,4	242,6	75,6	68,7	318,3	311,3	249,3	27,7	24,9	408,0	24,2

Bilan de lumière - Les Serres Lefort : serre 36, lot 2 (18 mars au 9 avril 2013) et le sommaire

DATE 2013	Flux photonique cumulé dans le PAR ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1}$) (par jour complet)							% en plus par EA* par rapport au		Heures éclairées /j	# jours
	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	*Total Témoin	HPS	DEL		
<i>Serre 36, lot 2-du 18 mars au 9 avril à 9h00 (heure avancée)</i>	31,77	17,95	3,33	3,02	21,28	20,99	18,31	16,2	14,6	18,0	22,2
<i>* 7,2% de l'éclairage HPS ont été ajoutés au témoin. La contribution relative de l'éclairage artificiel se fait donc par rapport à la colonne Total Témoin.</i>											
18-mars	36,91	20,85	3,34	3,03	24,19	24,19	24,19	0,0	0,0	18,0	1,0
19-mars	9,41	5,32	3,34	3,03	8,66	8,35	5,54	56,2	50,6	18,0	1,0
20-mars	30,18	17,05	3,34	3,03	20,39	20,08	17,28	18,0	16,2	18,0	1,0
21-mars	34,10	19,27	3,34	3,03	22,60	22,30	19,49	16,0	14,4	18,0	1,0
22-mars	25,25	14,27	3,34	3,03	17,60	17,30	14,49	21,5	19,4	18,0	1,0
23-mars	24,15	13,64	3,34	3,03	16,98	16,67	13,87	22,4	20,2	18,0	1,0
24-mars	28,58	16,15	3,34	3,03	19,48	19,18	16,37	19,0	17,1	18,0	1,0
25-mars	36,62	20,69	3,34	3,03	24,03	23,72	20,92	14,9	13,4	18,0	1,0
26-mars	43,22	24,42	3,34	3,03	27,76	27,45	24,65	12,6	11,4	18,0	1,0
27-mars	33,65	19,01	3,34	3,03	22,35	22,04	19,23	16,2	14,6	18,0	1,0
28-mars	36,65	20,71	3,34	3,03	24,04	23,74	20,93	14,9	13,4	18,0	1,0
29-mars	28,24	15,96	3,34	3,03	19,29	18,99	16,18	19,2	17,3	18,0	1,0
30-mars	45,43	25,67	3,34	3,03	29,01	28,70	25,89	12,0	10,8	18,0	1,0
31-mars	28,45	16,07	3,34	3,03	19,41	19,10	16,30	19,1	17,2	18,0	1,0
01-avr	20,95	11,83	3,34	3,03	15,17	14,86	12,06	25,8	23,3	18,0	1,0
02-avr	31,36	17,72	3,34	3,03	21,06	20,75	17,95	17,3	15,6	18,0	1,0
03-avr	43,45	24,55	3,34	3,03	27,88	27,58	24,77	12,6	11,3	18,0	1,0
04-avr	47,41	26,79	3,34	3,03	30,13	29,82	27,01	11,5	10,4	18,0	1,0
05-avr	23,75	13,42	3,34	3,03	16,76	16,45	13,65	22,8	20,6	18,0	1,0
06-avr	50,05	28,28	3,34	3,03	31,62	31,31	28,50	10,9	9,8	18,0	1,0
07-avr	21,31	12,04	3,34	3,03	15,37	15,07	12,26	25,4	22,9	18,0	1,0
08-avr	25,83	14,60	3,34	3,03	17,93	17,63	14,82	21,0	18,9	18,0	1,0
09-avr	0,31	0,18	0,56	0,50	0,73	0,68	0,21	244,1	220,0	3,0	0,2
Total pour la période du bilan agronomique, lot 2	705,3	398,5	74,0	67,1	472,4	465,9	406,6	16,2	14,6	399,0	22,2

Serre 37 - Paramètres évalués et utilisés

Transmission serre 36	56,5%	Transmission serre 37		57,5%	Correction pour le capteur priva ext.: 1,000		Conversion Watt à μmol dans le PAR pour la lumière extérieure	2,064
Flux photonique cumulé par h ($\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	HPS	0,180	DEL	0,164	Correction de la lecture du Licore: 0,800			
Intensité (Li-Cor) 4 lectures 26 positions $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	62,7	DEL	56,8	Témoin	3,6	Ratio HPS/DEL	1,10
Intensité corrigée du Licore $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	50,1	DEL	45,4	Témoin	2,9		

Bilan de lumière - Les Serres Lefort : serre 37, lot 1 (21 février au 18 mars 2013)

DATE 2013	Flux photonique cumulé dans le PAR ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1}$) (par jour complet)							% en plus par EA* par rapport au témoin		Heures éclairées /j	# jours
	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	*Total Témoin	HPS	DEL		
<i>Serre 37, lot 1 - du 21 février 0h00 au 18 mars à 9h30</i>	18,56	10,67	3,24	2,94	13,92	13,61	10,86	28,2	25,4	18,0	25,2
<i>* 7,2% de l'éclairage HPS ont été ajoutés au témoin. La contribution relative de l'éclairage artificiel se fait donc par rapport à la colonne Total Témoin.</i>											
21-févr	16,29	9,36	3,25	2,94	12,61	12,31	9,55	32,1	28,9	18,0	1,0
22-févr	16,00	9,20	3,25	2,94	12,45	12,14	9,39	32,6	29,4	18,0	1,0
23-févr	4,85	2,79	3,25	2,94	6,04	5,73	2,97	102,9	92,7	18,0	1,0
24-févr	6,36	3,66	3,25	2,94	6,90	6,60	3,84	79,7	71,8	18,0	1,0
25-févr	11,15	6,41	3,25	2,94	9,66	9,36	6,60	46,4	41,8	18,0	1,0
26-févr	22,08	12,70	3,25	2,94	15,95	15,64	12,88	23,8	21,4	18,0	1,0
27-févr	6,62	3,80	3,25	2,94	7,05	6,75	3,99	76,7	69,1	18,0	1,0
28-févr	12,76	7,34	3,25	2,94	10,58	10,28	7,52	40,7	36,7	18,0	1,0
01-mars	15,77	9,07	3,25	2,94	12,32	12,01	9,26	33,1	29,8	18,0	1,0
02-mars	17,84	10,26	3,25	2,94	13,51	13,20	10,44	29,3	26,4	18,0	1,0
03-mars	22,63	13,01	3,25	2,94	16,26	15,96	13,20	23,2	20,9	18,0	1,0
04-mars	16,66	9,58	3,25	2,94	12,83	12,53	9,77	31,3	28,2	18,0	1,0
05-mars	18,98	10,91	3,25	2,94	14,16	13,86	11,10	27,6	24,9	18,0	1,0
06-mars	23,08	13,27	3,25	2,94	16,52	16,21	13,46	22,8	20,5	18,0	1,0
07-mars	10,99	6,32	3,25	2,94	9,57	9,26	6,51	47,1	42,4	18,0	1,0
08-mars	33,48	19,25	3,25	2,94	22,50	22,20	19,44	15,7	14,2	18,0	1,0
09-mars	35,55	20,44	3,25	2,94	23,69	23,39	20,63	14,8	13,4	18,0	1,0
10-mars	21,99	12,65	3,25	2,94	15,89	15,59	12,83	23,9	21,5	18,0	1,0
11-mars	12,74	7,33	3,25	2,94	10,57	10,27	7,51	40,8	36,7	18,0	1,0
12-mars	4,89	2,81	3,25	2,94	6,06	5,76	3,00	102,0	91,9	18,0	1,0
13-mars	26,03	14,97	3,25	2,94	18,21	17,91	15,15	20,2	18,2	18,0	1,0
14-mars	22,00	12,65	3,25	2,94	15,90	15,59	12,83	23,9	21,5	18,0	1,0
15-mars	21,32	12,26	3,25	2,94	15,51	15,20	12,44	24,6	22,2	18,0	1,0
16-mars	21,05	12,10	3,25	2,94	15,35	15,05	12,29	24,9	22,4	18,0	1,0
17-mars	41,90	24,09	3,25	2,94	27,34	27,04	24,28	12,6	11,4	18,0	1,0
18-mars	4,71	2,71	0,54	0,49	3,25	3,20	2,74	18,6	16,8	3,0	0,2
	467,72	268,94	81,74	74,11	350,68	343,05	273,63	28,2	25,4	453,0	25,2

Bilan de lumière - Les Serres Lefort : serre 37, lot 2 (27 mars au 16 avril 2013) et le sommaire

DATE 2013	Flux photonique cumulé dans le PAR ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1}$) (par jour complet)							% en plus par EA* par rapport au témoin		Heures éclairées /j	# jours
	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	*Total Témoin	HPS	DEL		
Serre 37, lot 2 -du 27 mars au 16 avril à 8h00 (heure avancée)	29,31	16,85	3,26	2,95	20,11	19,81	17,04	18,0	16,2	18,1	20,1
<i>* 7,2% de l'éclairage HPS ont été ajoutés au témoin. La contribution relative de l'éclairage artificiel se fait donc par rapport à la colonne Total Témoin.</i>											
27-mars	33,65	19,35	3,25	2,94	22,59	22,29	19,53	15,7	14,1	18,0	1,0
28-mars	36,65	21,07	3,25	2,94	24,32	24,02	21,26	14,4	13,0	18,0	1,0
29-mars	28,24	16,24	3,25	2,94	19,49	19,18	16,43	18,6	16,8	18,0	1,0
30-mars	45,43	26,12	3,25	2,94	29,37	29,07	26,31	11,6	10,5	18,0	1,0
31-mars	28,45	16,36	3,25	2,94	19,61	19,30	16,54	18,5	16,7	18,0	1,0
01-avr	20,95	12,04	3,25	2,94	15,29	14,99	12,23	25,0	22,6	18,0	1,0
02-avr	31,36	18,03	3,25	2,94	21,28	20,98	18,22	16,8	15,1	18,0	1,0
03-avr	43,45	24,98	3,25	2,94	28,23	27,93	25,17	12,2	11,0	18,0	1,0
04-avr	47,41	27,26	3,25	2,94	30,51	30,21	27,45	11,2	10,0	18,0	1,0
05-avr	23,75	13,66	3,25	2,94	16,91	16,60	13,84	22,1	19,9	18,0	1,0
06-avr	50,05	28,78	3,25	2,94	32,03	31,72	28,97	10,6	9,5	18,0	1,0
07-avr	21,31	12,25	3,25	2,94	15,50	15,20	12,44	24,6	22,2	18,0	1,0
08-avr	25,83	14,85	3,25	2,94	18,10	17,80	15,04	20,4	18,3	18,0	1,0
09-avr	11,20	6,44	3,25	2,94	9,69	9,39	6,63	46,2	41,6	18,0	1,0
10-avr	18,46	10,62	3,25	2,94	13,87	13,56	10,80	28,3	25,5	18,0	1,0
11-avr	35,51	20,42	3,25	2,94	23,67	23,36	20,60	14,9	13,4	18,0	1,0
12-avr	5,63	3,24	3,25	2,94	6,48	6,18	3,42	89,5	80,6	18,0	1,0
13-avr	11,82	6,80	3,25	2,94	10,05	9,74	6,98	43,8	39,5	18,0	1,0
14-avr	26,94	15,49	3,25	2,94	18,74	18,44	15,68	19,5	17,6	18,0	1,0
15-avr	42,74	24,58	3,25	2,94	27,82	27,52	24,76	12,4	11,1	18,0	1,0
16-avr	0,26	0,15	0,54	0,49	0,69	0,64	0,18	284,4	256,2	3,0	0,1
Total pour la période du bilan agronomique, lot 2	589,10	338,73	65,50	59,39	404,23	398,12	342,49	18,0	16,2	363,0	20,1

Annexe 13 : Serres Ovation - Données détaillées de lumière ayant servies à évaluer le taux de transmission de lumière naturelle des complexes 1 et 2

Date : 4 juin 2013

Serres Ovation : Complexe 2

Localisation	Parcelle	Heure normale	Flux photonique		Taux de transmission de lumière
			Intérieur	Extérieur	
			$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$		
Extérieur		10:41		2 369	
242	Témoin	10:35	1 644		69,4%
242	Témoin	10:36	1 649		69,6%
242	Témoin	10:38	1 894		79,9%
242	Témoin	10:39	1 987		83,9%
Moyenne - Complexe 2 - Parcelle « Témoin » :			1 794	2 369	75,7%
Taux de transmission le lumière - Complexe 2 (valeur ajustée de -3,0%) :					72,7%

Date : 4 juin 2013

Serres Ovation : Complexe 1

Localisation	Parcelle	Heure normale	Flux photonique		Taux de transmission de lumière
			Intérieur	Extérieur	
			$\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$		
Extérieur		10:58		2 385	
162 ^A	Témoin	10:56	1 782		74,7%
163	Témoin	10:57	1 874		78,6%
Moyenne - Complexe 1 - Parcelle « Témoin » :			1 828	2 385	76,6%
Taux de transmission le lumière - Complexe 1 (valeur ajustée de -3,0%) :					73,6%

^A Lumière coupée par barre au centre.

Il faut réduire le % de transmission de lumière d'environ 3 % à 5 % pour tenir compte de l'effet des structures, des équipements et autres. La méthodologie utilisée les réduit au minimum. Il a été observé qu'il y avait beaucoup de condensation entre les plastiques. Le multiplicateur du Li-Cor était de 144 lors des prises de données.

Annexe 14 : Serres Ovation - Complexes 1 et 2 - Bilan de lumière

Ces bilans ont servi à effectuer le bilan du flux photonique cumulé dans le PAR selon le complexe.

Les lectures des données PRIVA est notre référence pour évaluer la lumière reçue dans les complexes. En tenant compte des valeurs du Li-Cor qui ont été calibrées et ajustées, les données PRIVA lisent une valeur réelle plus élevée que la réalité. Ainsi, les valeurs PRIVA ont été ajustées à la baisse lors des évaluations⁴⁴. En fonction des heures d'éclairage, la lumière émise par les HPS et les DEL a été ajoutée pour obtenir le cumulé de la journée (mol m⁻² j⁻¹). Le jour (j) représente 24 h.

Le facteur de correction du Li-Cor provient d'un certains nombres de lecture du Li-Cor à une heure proche du Zénith lors de journée pleinement ensoleillée. Les lectures originales ont été prises avec le Li-Cor qui avait pour son multiplicateur une valeur de -144. Suite à une série de vérification pour vérifier la justesse de ce multiplicateur avec les données de ClearSky (8 vérifications aux dates suivantes : 27 et 31 mai, 12, 14 et 4 mesures le 19 juin), il a été jugé que les valeurs obtenus lors des lectures de l'éclairage artificiel étaient surévalué il fallait les corriger par un facteur de 0,800 (voir la cellule du tableau suivant : Correction de la lecture Li-Cor).

Le facteur de conversion des Watt à μmol a été évalué à partir du « Clear Sky Calculator⁴⁵ » en la date du 4 juin 2013 pour le site des Serres Ovation ($2,064 \mu\text{W} = 1874 \mu / 908 \text{ W}$).

⁴⁴ Au 4 juin, le capteur PRIVA lisait 970 W/m² et le calculateur ClearSky 920 W/m², d'où $0,948 = 920/970$.

⁴⁵ www.clearskycalculator.com

Complexe 1 - Paramètres évalués et utilisés

Serres Ovation : complexe 1										
Transmission complexe 1	73,6%	Transmission complexe 2		72,7%	Correction pour le capteur priva ext			0,948	Conversion Watt (sw) à μmol au PAR pour la lumière extérieure	2,064
Flux photonique cumulé par h ($\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	HPS	0,639	DEL	0,345	Correction de la lecture du Licore			0,800		
Intensité (Li_Cor) 63 lectures 26 mars $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	140,2	DEL	94,4	Témoin		Ratio HPS/DEL	1,49		
Intensité théorique du flux photonique $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	177,6	DEL	95,7	Témoin		Ratio HPS/DEL	1,86		

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 1 (17 février au 19 mars 2013)

Serres Ovation : Complexe 1	Flux photonique cumulé (mol m ⁻² j ⁻¹ PAR)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA / j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,21	0,00	0,00	12,21	12,21	12,21	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,59	7,64	4,12	29,23	25,71	21,59	35,4	19,1	12,0	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,99	8,05	4,34	33,03	29,32	24,99	32,2	17,4	12,6	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,87	7,91	4,26	31,78	28,13	23,87	33,2	17,9	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	26,12	0,00	0,00	26,12	26,12	26,12	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	12,4	133	
2013-02-17	18,04	13,28	0,00	0,00	13,28	13,28	13,28	0,0	0,0		0	7
2013-02-18	28,98	21,33	0,00	0,00	21,33	21,33	21,33	0,0	0,0		0	1
2013-02-19	10,68	7,86	0,00	0,00	7,86	7,86	7,86	0,0	0,0		0	2
2013-02-20	13,67	10,06	0,00	0,00	10,06	10,06	10,06	0,0	0,0		0	3
2013-02-21	15,47	11,39	0,00	0,00	11,39	11,39	11,39	0,0	0,0		0	4
2013-02-22	15,20	11,19	0,00	0,00	11,19	11,19	11,19	0,0	0,0		0	5
2013-02-23	4,61	3,39	0,00	0,00	3,39	3,39	3,39	0,0	0,0		0	6
2013-02-24	6,04	4,45	0,00	0,00	4,45	4,45	4,45	0,0	0,0		0	7
2013-02-25	10,59	7,80	0,00	0,00	7,80	7,80	7,80	0,0	0,0		0	1
2013-02-26	20,98	15,44	0,00	0,00	15,44	15,44	15,44	0,0	0,0		0	2
2013-02-27	6,29	4,63	0,00	0,00	4,63	4,63	4,63	0,0	0,0		0	3
2013-02-28	12,12	8,92	0,00	0,00	8,92	8,92	8,92	0,0	0,0		0	4
2013-03-01	14,98	11,03	0,00	0,00	11,03	11,03	11,03	0,0	0,0		0	5
2013-03-02	16,95	12,47	0,00	0,00	12,47	12,47	12,47	0,0	0,0		0	6
2013-03-03	21,50	15,83	0,00	0,00	15,83	15,83	15,83	0,0	0,0		0	7
2013-03-04	15,83	11,65	0,00	0,00	11,65	11,65	11,65	0,0	0,0		0	1
2013-03-05	18,03	13,27	0,00	0,00	13,27	13,27	13,27	0,0	0,0		0	2
2013-03-06	21,92	16,14	0,00	0,00	16,14	16,14	16,14	0,0	0,0		0	3
2013-03-07	10,44	7,69	0,00	0,00	7,69	7,69	7,69	0,0	0,0		0	4
2013-03-08	31,81	23,41	0,00	0,00	23,41	23,41	23,41	0,0	0,0		0	5
2013-03-09	33,77	24,86	0,00	0,00	24,86	24,86	24,86	0,0	0,0		0	6
2013-03-10	20,89	15,38	0,00	0,00	15,38	15,38	15,38	0,0	0,0		0	7
2013-03-11	12,10	8,91	0,00	0,00	8,91	8,91	8,91	0,0	0,0		0	1
2013-03-12	4,65	3,42	0,00	0,00	3,42	3,42	3,42	0,0	0,0		0	2
2013-03-13	24,73	18,20	0,00	0,00	18,20	18,20	18,20	0,0	0,0		0	3
2013-03-14	20,90	15,38	0,00	0,00	15,38	15,38	15,38	0,0	0,0		0	4
2013-03-15	23,40	17,22	6,61	3,56	23,83	20,78	17,22	38,4	20,7	10,3	1	5
2013-03-16	32,15	23,66	7,03	3,79	30,69	27,45	23,66	29,7	16,0	11,0	1	6
2013-03-17	38,64	28,44	5,86	3,16	34,30	31,60	28,44	20,6	11,1	9,2	1	7
2013-03-18	35,26	25,95	6,07	3,27	32,03	29,22	25,95	23,4	12,6	9,5	1	1
2013-03-19	7,83	5,76	10,60	5,71	16,36	11,47	5,76	184,1	99,2	16,6	1	2

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 1 (20 mars au 19 avril 2013)

Serres Ovation : Complexe 1	Flux photonique cumulé ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1} \text{PAR}$)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA / j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,21	0,00	0,00	12,21	12,21	12,21	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,59	7,64	4,12	29,23	25,71	21,59	35,4	19,1	12,0	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,99	8,05	4,34	33,03	29,32	24,99	32,2	17,4	12,6	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,87	7,91	4,26	31,78	28,13	23,87	33,2	17,9	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	26,12	0,00	0,00	26,12	26,12	26,12	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	12,4	133	
2013-03-20	17,47	12,86	10,60	5,71	23,46	18,57	12,86	82,5	44,4	16,6	1	3
2013-03-21	24,20	17,81	9,11	4,91	26,93	22,72	17,81	51,1	27,6	14,3	1	4
2013-03-22	29,02	21,36	7,03	3,79	28,39	25,15	21,36	32,9	17,7	11,0	1	5
2013-03-23	24,52	18,04	8,63	4,65	26,68	22,70	18,04	47,8	25,8	13,5	1	6
2013-03-24	26,51	19,51	8,26	4,45	27,77	23,96	19,51	42,3	22,8	12,9	1	7
2013-03-25	38,62	28,43	6,13	3,30	34,56	31,73	28,43	21,6	11,6	9,6	1	1
2013-03-26	34,40	25,32	6,23	3,36	31,56	28,68	25,32	24,6	13,3	9,8	1	2
2013-03-27	27,20	20,02	7,99	4,31	28,01	24,32	20,02	39,9	21,5	12,5	1	3
2013-03-28	33,01	24,29	7,14	3,85	31,43	28,14	24,29	29,4	15,8	11,2	1	4
2013-03-29	25,08	18,46	8,95	4,82	27,41	23,29	18,46	48,5	26,1	14,0	1	5
2013-03-30	41,93	30,86	5,81	3,13	36,67	33,99	30,86	18,8	10,1	9,1	1	6
2013-03-31	29,92	22,02	6,93	3,73	28,95	25,75	22,02	31,5	17,0	10,8	1	7
2013-04-01	24,13	17,76	8,47	4,56	26,23	22,32	17,76	47,7	25,7	13,3	1	1
2013-04-02	24,38	17,94	8,42	4,54	26,36	22,48	17,94	46,9	25,3	13,2	1	2
2013-04-03	38,68	28,47	6,98	3,76	35,45	32,23	28,47	24,5	13,2	10,9	1	3
2013-04-04	38,94	28,66	6,77	3,65	35,43	32,30	28,66	23,6	12,7	10,6	1	4
2013-04-05	28,18	20,74	7,89	4,25	28,62	24,99	20,74	38,0	20,5	12,3	1	5
2013-04-06	45,98	33,84	5,70	3,07	39,54	36,91	33,84	16,8	9,1	8,9	1	6
2013-04-07	14,48	10,66	10,23	5,51	20,89	16,17	10,66	96,0	51,7	16,0	1	7
2013-04-08	19,41	14,29	9,75	5,25	24,04	19,54	14,29	68,3	36,8	15,3	1	1
2013-04-09	16,32	12,01	9,96	5,37	21,97	17,38	12,01	83,0	44,7	15,6	1	2
2013-04-10	36,18	26,63	6,82	3,67	33,45	30,30	26,63	25,6	13,8	10,7	1	3
2013-04-11	40,33	29,68	6,02	3,24	35,70	32,92	29,68	20,3	10,9	9,4	1	4
2013-04-12	6,44	4,74	11,14	6,00	15,87	10,74	4,74	235,0	126,6	17,4	1	5
2013-04-13	9,57	7,04	11,14	6,00	18,18	13,04	7,04	158,1	85,2	17,4	1	6
2013-04-14	28,90	21,27	7,62	4,11	28,89	25,38	21,27	35,8	19,3	11,9	1	7
2013-04-15	33,99	25,01	7,57	4,08	32,58	29,09	25,01	30,2	16,3	11,8	1	1
2013-04-16	4,21	3,10	11,19	6,03	14,29	9,13	3,10	361,4	194,7	17,5	1	2
2013-04-17	49,80	36,65	5,59	3,01	42,25	39,67	36,65	15,3	8,2	8,8	1	3
2013-04-18	11,13	8,19	11,24	6,06	19,44	14,25	8,19	137,2	73,9	17,6	1	4
2013-04-19	18,29	13,47	9,80	5,28	23,27	18,75	13,47	72,8	39,2	15,3	1	5

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 1 (20 avril au 19 mai 2013)

Serres Ovation : Complexe 1	Flux photonique cumulé ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1} \text{PAR}$)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA / j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,21	0,00	0,00	12,21	12,21	12,21	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,59	7,64	4,12	29,23	25,71	21,59	35,4	19,1	12,0	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,99	8,05	4,34	33,03	29,32	24,99	32,2	17,4	12,6	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,87	7,91	4,26	31,78	28,13	23,87	33,2	17,9	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	26,12	0,00	0,00	26,12	26,12	26,12	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	12,4	133	
2013-04-20	24,15	17,77	9,11	4,91	26,88	22,68	17,77	51,3	27,6	14,3	1	6
2013-04-21	51,26	37,73	5,59	3,01	43,33	40,75	37,73	14,8	8,0	8,8	1	7
2013-04-22	49,80	36,65	5,59	3,01	42,25	39,67	36,65	15,3	8,2	8,8	1	1
2013-04-23	50,60	37,24	5,75	3,10	43,00	40,34	37,24	15,5	8,3	9,0	1	2
2013-04-24	40,74	29,98	6,39	3,45	36,38	33,43	29,98	21,3	11,5	10,0	1	3
2013-04-25	42,75	31,47	7,03	3,79	38,50	35,26	31,47	22,4	12,0	11,0	1	4
2013-04-26	40,31	29,67	6,45	3,47	36,11	33,14	29,67	21,7	11,7	10,1	1	5
2013-04-27	44,42	32,69	5,86	3,16	38,55	35,85	32,69	17,9	9,7	9,2	1	6
2013-04-28	48,62	35,79	5,75	3,10	41,54	38,89	35,79	16,1	8,7	9,0	1	7
2013-04-29	32,89	24,21	7,67	4,13	31,88	28,34	24,21	31,7	17,1	12,0	1	1
2013-04-30	38,35	28,23	7,14	3,85	35,37	32,07	28,23	25,3	13,6	11,2	1	2
2013-05-01	47,90	35,25	6,29	3,39	41,54	38,64	35,25	17,8	9,6	9,8	1	3
2013-05-02	35,90	26,43	8,31	4,48	34,74	30,90	26,43	31,5	16,9	13,0	1	4
2013-05-03	52,36	38,54	5,81	3,13	44,35	41,67	38,54	15,1	8,1	9,1	1	5
2013-05-04	51,54	37,93	5,86	3,16	43,79	41,09	37,93	15,5	8,3	9,2	1	6
2013-05-05	51,60	37,98	5,81	3,13	43,78	41,11	37,98	15,3	8,2	9,1	1	7
2013-05-06	51,03	37,56	5,75	3,10	43,31	40,66	37,56	15,3	8,3	9,0	1	1
2013-05-07	51,99	38,26	5,81	3,13	44,07	41,39	38,26	15,2	8,2	9,1	1	2
2013-05-08	44,20	32,53	7,25	3,90	39,78	36,44	32,53	22,3	12,0	11,3	1	3
2013-05-09	42,75	31,47	7,41	3,99	38,87	35,46	31,47	23,5	12,7	11,6	1	4
2013-05-10	42,22	31,08	7,09	3,82	38,16	34,90	31,08	22,8	12,3	11,1	1	5
2013-05-11	18,24	13,42	11,08	5,97	24,50	19,39	13,42	82,6	44,5	17,3	1	6
2013-05-12	30,37	22,35	9,27	5,00	31,62	27,35	22,35	41,5	22,4	14,5	1	7
2013-05-13	25,36	18,66	9,80	5,28	28,47	23,95	18,66	52,5	28,3	15,3	1	1
2013-05-14	57,35	42,21	5,54	2,99	47,75	45,20	42,21	13,1	7,1	8,7	1	2
2013-05-15	26,67	19,63	8,85	4,77	28,47	24,39	19,63	45,1	24,3	13,8	1	3
2013-05-16	22,80	16,78	10,28	5,54	27,06	22,32	16,78	61,3	33,0	16,1	1	4
2013-05-17	42,42	31,22	7,14	3,85	38,36	35,07	31,22	22,9	12,3	11,2	1	5
2013-05-18	54,32	39,98	5,65	3,04	45,63	43,02	39,98	14,1	7,6	8,8	1	6
2013-05-19	30,15	22,19	8,10	4,36	30,29	26,56	22,19	36,5	19,7	12,7	1	7

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 1 (20 mai au 19 juin 2013)

Serres Ovation : Complexe 1	Flux photonique cumulé ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1} \text{PAR}$)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA / j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,21	0,00	0,00	12,21	12,21	12,21	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,59	7,64	4,12	29,23	25,71	21,59	35,4	19,1	12,0	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,99	8,05	4,34	33,03	29,32	24,99	32,2	17,4	12,6	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,87	7,91	4,26	31,78	28,13	23,87	33,2	17,9	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	26,12	0,00	0,00	26,12	26,12	26,12	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	12,4	133	
2013-05-20	37,20	27,38	7,89	4,25	35,26	31,63	27,38	28,8	15,5	12,3	1	1
2013-05-21	26,47	19,48	8,47	4,56	27,96	24,05	19,48	43,5	23,4	13,3	1	2
2013-05-22	20,02	14,73	10,66	5,74	25,39	20,47	14,73	72,3	39,0	16,7	1	3
2013-05-23	17,02	12,53	11,08	5,97	23,61	18,50	12,53	88,5	47,7	17,3	1	4
2013-05-24	13,62	10,02	11,72	6,32	21,75	16,34	10,02	117,0	63,0	18,3	1	5
2013-05-25	11,07	8,15	11,72	6,32	19,87	14,47	8,15	143,8	77,5	18,3	1	6
2013-05-26	20,41	15,02	11,46	6,17	26,48	21,19	15,02	76,3	41,1	17,9	1	7
2013-05-27	57,98	42,67	0,00	0,00	42,67	42,67	42,67	0,0	0,0		0	1
2013-05-28	52,75	38,83	0,00	0,00	38,83	38,83	38,83	0,0	0,0		0	2
2013-05-29	5,64	4,15	0,00	0,00	4,15	4,15	4,15	0,0	0,0		0	3
2013-05-30	54,67	40,24	0,00	0,00	40,24	40,24	40,24	0,0	0,0		0	4
2013-05-31	48,39	35,61	0,00	0,00	35,61	35,61	35,61	0,0	0,0		0	5
2013-06-01	32,70	24,06	0,00	0,00	24,06	24,06	24,06	0,0	0,0		0	6
2013-06-02	26,81	19,73	0,00	0,00	19,73	19,73	19,73	0,0	0,0		0	7
2013-06-03	33,58	24,71	0,00	0,00	24,71	24,71	24,71	0,0	0,0		0	1
2013-06-04	54,22	39,91	0,00	0,00	39,91	39,91	39,91	0,0	0,0		0	2
2013-06-05	49,03	36,09	0,00	0,00	36,09	36,09	36,09	0,0	0,0		0	3
2013-06-06	17,67	13,00	0,00	0,00	13,00	13,00	13,00	0,0	0,0		0	4
2013-06-07	10,02	7,37	0,00	0,00	7,37	7,37	7,37	0,0	0,0		0	5
2013-06-08	14,64	10,77	0,00	0,00	10,77	10,77	10,77	0,0	0,0		0	6
2013-06-09	40,82	30,04	0,00	0,00	30,04	30,04	30,04	0,0	0,0		0	7
2013-06-10	45,41	33,42	0,00	0,00	33,42	33,42	33,42	0,0	0,0		0	1
2013-06-11	4,54	3,34	0,00	0,00	3,34	3,34	3,34	0,0	0,0		0	2
2013-06-12	42,95	31,61	0,00	0,00	31,61	31,61	31,61	0,0	0,0		0	3
2013-06-13	47,50	34,96	0,00	0,00	34,96	34,96	34,96	0,0	0,0		0	4
2013-06-14	48,80	35,92	0,00	0,00	35,92	35,92	35,92	0,0	0,0		0	5
2013-06-15	51,50	37,90	0,00	0,00	37,90	37,90	37,90	0,0	0,0		0	6
2013-06-16	12,46	9,17	0,00	0,00	9,17	9,17	9,17	0,0	0,0		0	7
2013-06-17	38,43	28,28	0,00	0,00	28,28	28,28	28,28	0,0	0,0		0	1
2013-06-18	40,60	29,88	0,00	0,00	29,88	29,88	29,88	0,0	0,0		0	2
2013-06-19	59,37	43,69	0,00	0,00	43,69	43,69	43,69	0,0	0,0		0	3

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 1 (20 juin au 29 juin 2013) et le sommaire

Serres Ovation : Complexe 1	Flux photonique cumulé ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1} \text{PAR}$)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,21	0,00	0,00	12,21	12,21	12,21	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,59	7,64	4,12	29,23	25,71	21,59	35,4	19,1	12,0	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,99	8,05	4,34	33,03	29,32	24,99	32,2	17,4	12,6	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,87	7,91	4,26	31,78	28,13	23,87	33,2	17,9	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	26,12	0,00	0,00	26,12	26,12	26,12	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	12,4	133	
2013-06-20	58,95	43,39	0,00	0,00	43,39	43,39	43,39	0,0	0,0		0	4
2013-06-21	44,36	32,65	0,00	0,00	32,65	32,65	32,65	0,0	0,0		0	5
2013-06-22	11,02	8,11	0,00	0,00	8,11	8,11	8,11	0,0	0,0		0	6
2013-06-23	25,81	19,00	0,00	0,00	19,00	19,00	19,00	0,0	0,0		0	7
2013-06-24	45,24	33,30	0,00	0,00	33,30	33,30	33,30	0,0	0,0		0	1
2013-06-25	41,76	30,73	0,00	0,00	30,73	30,73	30,73	0,0	0,0		0	2
2013-06-26	17,47	12,86	0,00	0,00	12,86	12,86	12,86	0,0	0,0		0	3
2013-06-27	40,52	29,82	0,00	0,00	29,82	29,82	29,82	0,0	0,0		0	4
2013-06-28	6,28	4,62	0,00	0,00	4,62	4,62	4,62	0,0	0,0		0	5
2013-06-29	24,97	18,38	0,00	0,00	18,38	18,38	18,38	0,0	0,0		0	6
Total pour la période du bilan agronomique	4 005,4	2 947,9	577,8	311,3	3 525,7	3 259,2	2 947,9			903,6	73	133
Moyenne	30,12	22,17	4,34	2,34	26,51	24,51	22,17	19,6	10,6	6,79	0,55	

Complexe 2 - Paramètres évalués et utilisés

Serres Ovation : complexe 2, bilan lumineux selon le flux théorique										
Transmission complexe 1	73,6%	Transmission complexe 2		72,7%	Correction pour le capteur priva ext			0,948	Conversion Watt (sw) à μmol au PAR pour la lumière extérieure	2,064
Flux photonique cumulé par h ($\text{mol m}^{-2} \text{h}^{-1}$)	HPS	0,639	DEL	0,345	Correction de la lecture du Licore			0,800		
Intensité (Li-Cor) 63 lectures 26 mars $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	158,2	DEL	81,0	Témoin		Ratio HPS/DEL	1,95		
Intensité flux photonique théorique $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	HPS	177,6	DEL	95,7	Témoin		Ratio HPS/DEL	1,86		

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 2 (17 février au 29 juin 2013)

Serres Ovation : Complexe 2	Flux photonique cumulé (mol m ⁻² j ⁻¹ PAR)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,06	0,00	0,00	12,06	12,06	12,06	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,32	7,76	4,18	29,08	25,50	21,32	36,4	19,6	12,1	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,68	8,00	4,31	32,68	28,99	24,68	32,4	17,5	12,5	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,58	7,92	4,27	31,49	27,84	23,58	33,6	18,1	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	25,80	0,00	0,00	25,80	25,80	25,80	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	12,4	133	
2013-02-17	18,04	13,11	0,00	0,00	13,11	13,11	13,11	0,0	0,0		0	7
2013-02-18	28,98	21,07	0,00	0,00	21,07	21,07	21,07	0,0	0,0		0	1
2013-02-19	10,68	7,76	0,00	0,00	7,76	7,76	7,76	0,0	0,0		0	2
2013-02-20	13,67	9,94	0,00	0,00	9,94	9,94	9,94	0,0	0,0		0	3
2013-02-21	15,47	11,25	0,00	0,00	11,25	11,25	11,25	0,0	0,0		0	4
2013-02-22	15,20	11,05	0,00	0,00	11,05	11,05	11,05	0,0	0,0		0	5
2013-02-23	4,61	3,35	0,00	0,00	3,35	3,35	3,35	0,0	0,0		0	6
2013-02-24	6,04	4,39	0,00	0,00	4,39	4,39	4,39	0,0	0,0		0	7
2013-02-25	10,59	7,70	0,00	0,00	7,70	7,70	7,70	0,0	0,0		0	1
2013-02-26	20,98	15,25	0,00	0,00	15,25	15,25	15,25	0,0	0,0		0	2
2013-02-27	6,29	4,57	0,00	0,00	4,57	4,57	4,57	0,0	0,0		0	3
2013-02-28	12,12	8,81	0,00	0,00	8,81	8,81	8,81	0,0	0,0		0	4
2013-03-01	14,98	10,89	0,00	0,00	10,89	10,89	10,89	0,0	0,0		0	5
2013-03-02	16,95	12,32	0,00	0,00	12,32	12,32	12,32	0,0	0,0		0	6
2013-03-03	21,50	15,63	0,00	0,00	15,63	15,63	15,63	0,0	0,0		0	7
2013-03-04	15,83	11,51	0,00	0,00	11,51	11,51	11,51	0,0	0,0		0	1
2013-03-05	18,03	13,11	0,00	0,00	13,11	13,11	13,11	0,0	0,0		0	2
2013-03-06	21,92	15,94	0,00	0,00	15,94	15,94	15,94	0,0	0,0		0	3
2013-03-07	10,44	7,59	0,00	0,00	7,59	7,59	7,59	0,0	0,0		0	4
2013-03-08	31,81	23,13	0,00	0,00	23,13	23,13	23,13	0,0	0,0		0	5
2013-03-09	33,77	24,55	0,00	0,00	24,55	24,55	24,55	0,0	0,0		0	6
2013-03-10	20,89	15,19	0,00	0,00	15,19	15,19	15,19	0,0	0,0		0	7
2013-03-11	12,10	8,80	0,00	0,00	8,80	8,80	8,80	0,0	0,0		0	1
2013-03-12	4,65	3,38	0,00	0,00	3,38	3,38	3,38	0,0	0,0		0	2
2013-03-13	24,73	17,98	0,00	0,00	17,98	17,98	17,98	0,0	0,0		0	3
2013-03-14	20,90	15,19	0,00	0,00	15,19	15,19	15,19	0,0	0,0		0	4
2013-03-15	23,40	17,01	6,66	3,59	23,67	20,60	17,01	39,1	21,1	10,4	1	5
2013-03-16	32,15	23,37	7,09	3,82	30,46	27,19	23,37	30,3	16,3	11,1	1	6
2013-03-17	38,64	28,09	6,02	3,24	34,12	31,34	28,09	21,4	11,5	9,4	1	7
2013-03-18	35,26	25,63	6,23	3,36	31,87	28,99	25,63	24,3	13,1	9,8	1	1
2013-03-19	7,83	5,69	10,66	5,74	16,35	11,43	5,69	187,3	100,9	16,7	1	2

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 2 (20 mars au 19 avril 2013)

Serres Ovation : Complexe 2	Flux photonique cumulé (mol m ⁻² j ⁻¹ PAR)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,06	0,00	0,00	12,06	12,06	12,06	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,32	7,76	4,18	29,08	25,50	21,32	36,4	19,6	12,1	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,68	8,00	4,31	32,68	28,99	24,68	32,4	17,5	12,5	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,58	7,92	4,27	31,49	27,84	23,58	33,6	18,1	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	25,80	0,00	0,00	25,80	25,80	25,80	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	12,4	133	
2013-03-20	17,47	12,70	10,71	5,77	23,41	18,47	12,70	84,3	45,4	16,8	1	3
2013-03-21	24,20	17,60	9,27	5,00	26,87	22,59	17,60	52,7	28,4	14,5	1	4
2013-03-22	29,02	21,10	7,25	3,90	28,34	25,00	21,10	34,4	18,5	11,3	1	5
2013-03-23	24,52	17,82	8,69	4,68	26,51	22,50	17,82	48,7	26,3	13,6	1	6
2013-03-24	26,51	19,27	8,26	4,45	27,53	23,72	19,27	42,8	23,1	12,9	1	7
2013-03-25	38,62	28,08	6,23	3,36	34,31	31,44	28,08	22,2	12,0	9,8	1	1
2013-03-26	34,40	25,01	6,39	3,45	31,41	28,46	25,01	25,6	13,8	10,0	1	2
2013-03-27	27,20	19,77	8,31	4,48	28,09	24,25	19,77	42,0	22,7	13,0	1	3
2013-03-28	33,01	24,00	7,14	3,85	31,14	27,84	24,00	29,8	16,0	11,2	1	4
2013-03-29	25,08	18,24	9,22	4,97	27,45	23,20	18,24	50,5	27,2	14,4	1	5
2013-03-30	41,93	30,48	6,02	3,24	36,51	33,73	30,48	19,8	10,6	9,4	1	6
2013-03-31	29,92	21,75	7,03	3,79	28,78	25,54	21,75	32,3	17,4	11,0	1	7
2013-04-01	24,13	17,54	8,26	4,45	25,80	21,99	17,54	47,1	25,4	12,9	1	1
2013-04-02	24,38	17,72	8,63	4,65	26,36	22,38	17,72	48,7	26,2	13,5	1	2
2013-04-03	38,68	28,12	7,03	3,79	35,16	31,91	28,12	25,0	13,5	11,0	1	3
2013-04-04	38,94	28,31	6,87	3,70	35,18	32,01	28,31	24,3	13,1	10,8	1	4
2013-04-05	28,18	20,48	8,10	4,36	28,58	24,85	20,48	39,5	21,3	12,7	1	5
2013-04-06	45,98	33,43	5,81	3,13	39,24	36,56	33,43	17,4	9,4	9,1	1	6
2013-04-07	14,48	10,53	10,28	5,54	20,81	16,07	10,53	97,7	52,6	16,1	1	7
2013-04-08	19,41	14,11	9,86	5,31	23,97	19,42	14,11	69,9	37,6	15,4	1	1
2013-04-09	16,32	11,86	10,02	5,40	21,88	17,26	11,86	84,4	45,5	15,7	1	2
2013-04-10	36,18	26,30	6,87	3,70	33,18	30,01	26,30	26,1	14,1	10,8	1	3
2013-04-11	40,33	29,32	6,29	3,39	35,61	32,71	29,32	21,4	11,6	9,8	1	4
2013-04-12	6,44	4,68	11,14	6,00	15,82	10,68	4,68	238,0	128,2	17,4	1	5
2013-04-13	9,57	6,96	11,19	6,03	18,15	12,99	6,96	160,9	86,7	17,5	1	6
2013-04-14	28,90	21,01	7,73	4,16	28,74	25,17	21,01	36,8	19,8	12,1	1	7
2013-04-15	33,99	24,71	7,73	4,16	32,43	28,87	24,71	31,3	16,8	12,1	1	1
2013-04-16	4,21	3,06	11,24	6,06	14,30	9,12	3,06	367,6	198,1	17,6	1	2
2013-04-17	49,80	36,20	5,65	3,04	41,85	39,25	36,20	15,6	8,4	8,8	1	3
2013-04-18	11,13	8,09	11,24	6,06	19,34	14,15	8,09	138,9	74,8	17,6	1	4
2013-04-19	18,29	13,30	9,91	5,34	23,21	18,64	13,30	74,5	40,1	15,5	1	5

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 2 (20 avril au 19 mai 2013)

Serres Ovation : Complexe 2	Flux photonique cumulé ($\text{mol m}^{-2} \text{j}^{-1} \text{PAR}$)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,06	0,00	0,00	12,06	12,06	12,06	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,32	7,76	4,18	29,08	25,50	21,32	36,4	19,6	12,1	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,68	8,00	4,31	32,68	28,99	24,68	32,4	17,5	12,5	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,58	7,92	4,27	31,49	27,84	23,58	33,6	18,1	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	25,80	0,00	0,00	25,80	25,80	25,80	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	12,4	133	
2013-04-20	24,15	17,55	9,22	4,97	26,77	22,52	17,55	52,5	28,3	14,4	1	6
2013-04-21	51,26	37,27	5,75	3,10	43,02	40,37	37,27	15,4	8,3	9,0	1	7
2013-04-22	49,80	36,20	5,75	3,10	41,96	39,30	36,20	15,9	8,6	9,0	1	1
2013-04-23	50,60	36,79	5,81	3,13	42,59	39,92	36,79	15,8	8,5	9,1	1	2
2013-04-24	40,74	29,62	6,55	3,53	36,17	33,15	29,62	22,1	11,9	10,3	1	3
2013-04-25	42,75	31,08	7,09	3,82	38,17	34,90	31,08	22,8	12,3	11,1	1	4
2013-04-26	40,31	29,30	6,61	3,56	35,91	32,86	29,30	22,5	12,1	10,3	1	5
2013-04-27	44,42	32,29	6,02	3,24	38,31	35,53	32,29	18,6	10,0	9,4	1	6
2013-04-28	48,62	35,35	5,86	3,16	41,21	38,51	35,35	16,6	8,9	9,2	1	7
2013-04-29	32,89	23,91	7,83	4,22	31,74	28,13	23,91	32,8	17,6	12,3	1	1
2013-04-30	38,35	27,88	7,03	3,79	34,91	31,67	27,88	25,2	13,6	11,0	1	2
2013-05-01	47,90	34,82	6,39	3,45	41,22	38,27	34,82	18,4	9,9	10,0	1	3
2013-05-02	35,90	26,10	8,15	4,39	34,26	30,50	26,10	31,2	16,8	12,8	1	4
2013-05-03	52,36	38,07	5,54	2,99	43,61	41,05	38,07	14,6	7,8	8,7	1	5
2013-05-04	51,54	37,47	5,59	3,01	43,06	40,48	37,47	14,9	8,0	8,8	1	6
2013-05-05	51,60	37,51	5,65	3,04	43,16	40,55	37,51	15,1	8,1	8,8	1	7
2013-05-06	51,03	37,10	5,59	3,01	42,69	40,11	37,10	15,1	8,1	8,8	1	1
2013-05-07	51,99	37,80	5,59	3,01	43,39	40,81	37,80	14,8	8,0	8,8	1	2
2013-05-08	44,20	32,13	6,93	3,73	39,06	35,87	32,13	21,6	11,6	10,8	1	3
2013-05-09	42,75	31,08	7,09	3,82	38,17	34,90	31,08	22,8	12,3	11,1	1	4
2013-05-10	42,22	30,70	6,98	3,76	37,68	34,46	30,70	22,7	12,3	10,9	1	5
2013-05-11	18,24	13,26	10,82	5,83	24,07	19,09	13,26	81,6	44,0	16,9	1	6
2013-05-12	30,37	22,08	8,95	4,82	31,03	26,90	22,08	40,5	21,8	14,0	1	7
2013-05-13	25,36	18,44	9,64	5,20	28,08	23,63	18,44	52,3	28,2	15,1	1	1
2013-05-14	57,35	41,69	5,43	2,93	47,13	44,62	41,69	13,0	7,0	8,5	1	2
2013-05-15	26,67	19,39	8,58	4,62	27,97	24,01	19,39	44,2	23,8	13,4	1	3
2013-05-16	22,80	16,57	9,96	5,37	26,54	21,94	16,57	60,1	32,4	15,6	1	4
2013-05-17	42,42	30,84	6,98	3,76	37,82	34,60	30,84	22,6	12,2	10,9	1	5
2013-05-18	54,32	39,49	5,49	2,96	44,98	42,45	39,49	13,9	7,5	8,6	1	6
2013-05-19	30,15	21,92	7,94	4,28	29,86	26,20	21,92	36,2	19,5	12,4	1	7

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 2 (20 mai au 19 juin 2013)

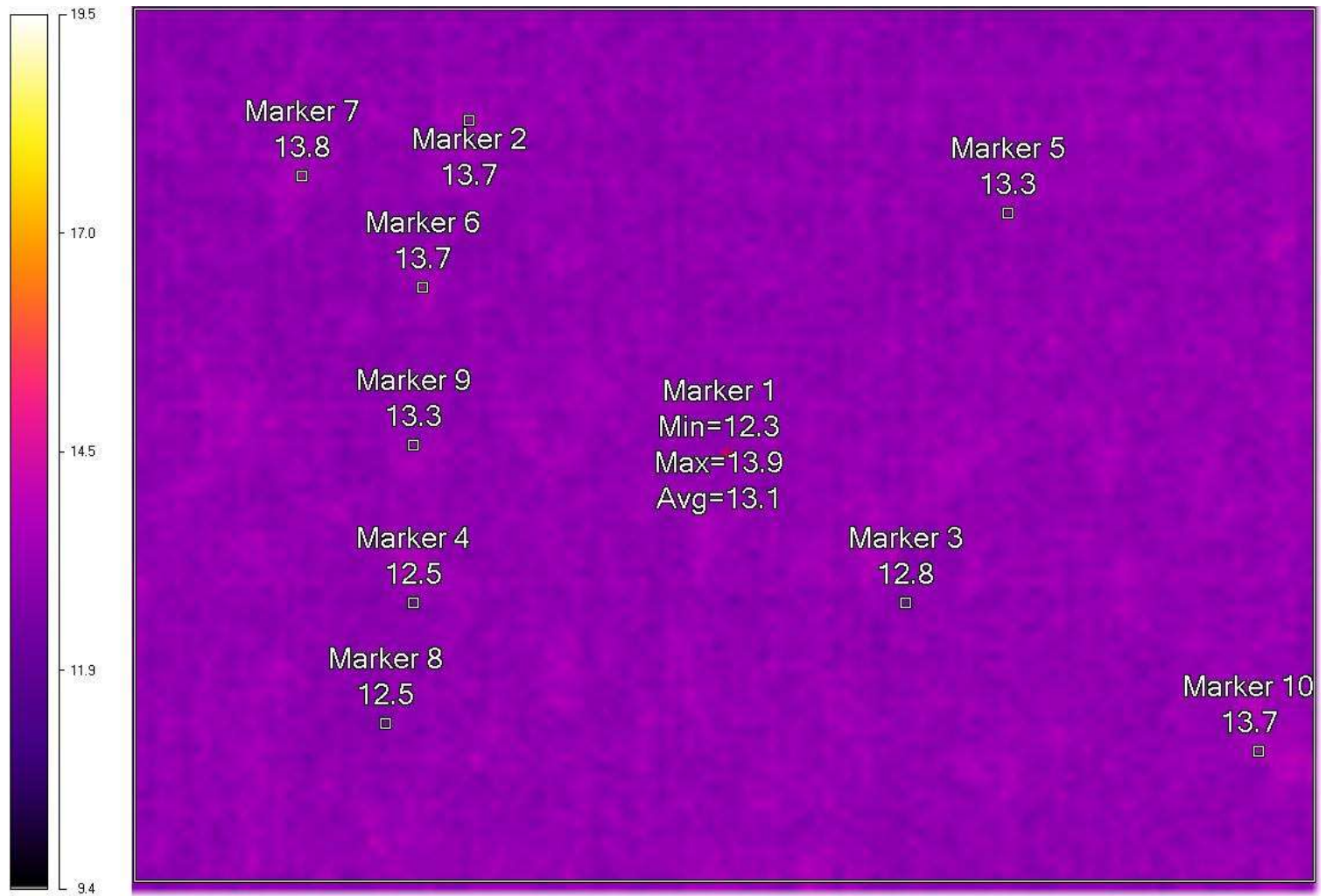
Serres Ovation : Complexe 2	Flux photonique cumulé (mol m ⁻² j ⁻¹ PAR)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,06	0,00	0,00	12,06	12,06	12,06	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,32	7,76	4,18	29,08	25,50	21,32	36,4	19,6	12,1	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,68	8,00	4,31	32,68	28,99	24,68	32,4	17,5	12,5	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,58	7,92	4,27	31,49	27,84	23,58	33,6	18,1	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	25,80	0,00	0,00	25,80	25,80	25,80	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	12,4	133	
2013-05-20	37,20	27,04	7,62	4,11	34,66	31,15	27,04	28,2	15,2	11,9	1	1
2013-05-21	26,47	19,25	8,37	4,51	27,61	23,75	19,25	43,5	23,4	13,1	1	2
2013-05-22	20,02	14,55	10,34	5,57	24,89	20,12	14,55	71,0	38,3	16,2	1	3
2013-05-23	17,02	12,38	11,24	6,06	23,62	18,43	12,38	90,8	48,9	17,6	1	4
2013-05-24	13,62	9,90	11,62	6,26	21,52	16,16	9,90	117,3	63,2	18,2	1	5
2013-05-25	11,07	8,05	11,67	6,29	19,72	14,34	8,05	144,9	78,1	18,3	1	6
2013-05-26	20,41	14,84	11,30	6,09	26,13	20,92	14,84	76,1	41,0	17,7	1	7
2013-05-27	57,98	42,15	0,00	0,00	42,15	42,15	42,15	0,0	0,0		0	1
2013-05-28	52,75	38,35	0,00	0,00	38,35	38,35	38,35	0,0	0,0		0	2
2013-05-29	5,64	4,10	0,00	0,00	4,10	4,10	4,10	0,0	0,0		0	3
2013-05-30	54,67	39,74	0,00	0,00	39,74	39,74	39,74	0,0	0,0		0	4
2013-05-31	48,39	35,18	0,00	0,00	35,18	35,18	35,18	0,0	0,0		0	5
2013-06-01	32,70	23,77	0,00	0,00	23,77	23,77	23,77	0,0	0,0		0	6
2013-06-02	26,81	19,49	0,00	0,00	19,49	19,49	19,49	0,0	0,0		0	7
2013-06-03	33,58	24,41	0,00	0,00	24,41	24,41	24,41	0,0	0,0		0	1
2013-06-04	54,22	39,42	0,00	0,00	39,42	39,42	39,42	0,0	0,0		0	2
2013-06-05	49,03	35,65	0,00	0,00	35,65	35,65	35,65	0,0	0,0		0	3
2013-06-06	17,67	12,85	0,00	0,00	12,85	12,85	12,85	0,0	0,0		0	4
2013-06-07	10,02	7,28	0,00	0,00	7,28	7,28	7,28	0,0	0,0		0	5
2013-06-08	14,64	10,64	0,00	0,00	10,64	10,64	10,64	0,0	0,0		0	6
2013-06-09	40,82	29,67	0,00	0,00	29,67	29,67	29,67	0,0	0,0		0	7
2013-06-10	45,41	33,02	0,00	0,00	33,02	33,02	33,02	0,0	0,0		0	1
2013-06-11	4,54	3,30	0,00	0,00	3,30	3,30	3,30	0,0	0,0		0	2
2013-06-12	42,95	31,22	0,00	0,00	31,22	31,22	31,22	0,0	0,0		0	3
2013-06-13	47,50	34,53	0,00	0,00	34,53	34,53	34,53	0,0	0,0		0	4
2013-06-14	48,80	35,48	0,00	0,00	35,48	35,48	35,48	0,0	0,0		0	5
2013-06-15	51,50	37,44	0,00	0,00	37,44	37,44	37,44	0,0	0,0		0	6
2013-06-16	12,46	9,06	0,00	0,00	9,06	9,06	9,06	0,0	0,0		0	7
2013-06-17	38,43	27,94	0,00	0,00	27,94	27,94	27,94	0,0	0,0		0	1
2013-06-18	40,60	29,52	0,00	0,00	29,52	29,52	29,52	0,0	0,0		0	2
2013-06-19	59,37	43,16	0,00	0,00	43,16	43,16	43,16	0,0	0,0		0	3

Bilan de lumière - Serres Ovation : complexe 2 (20 juin au 29 juin 2013) et le sommaire

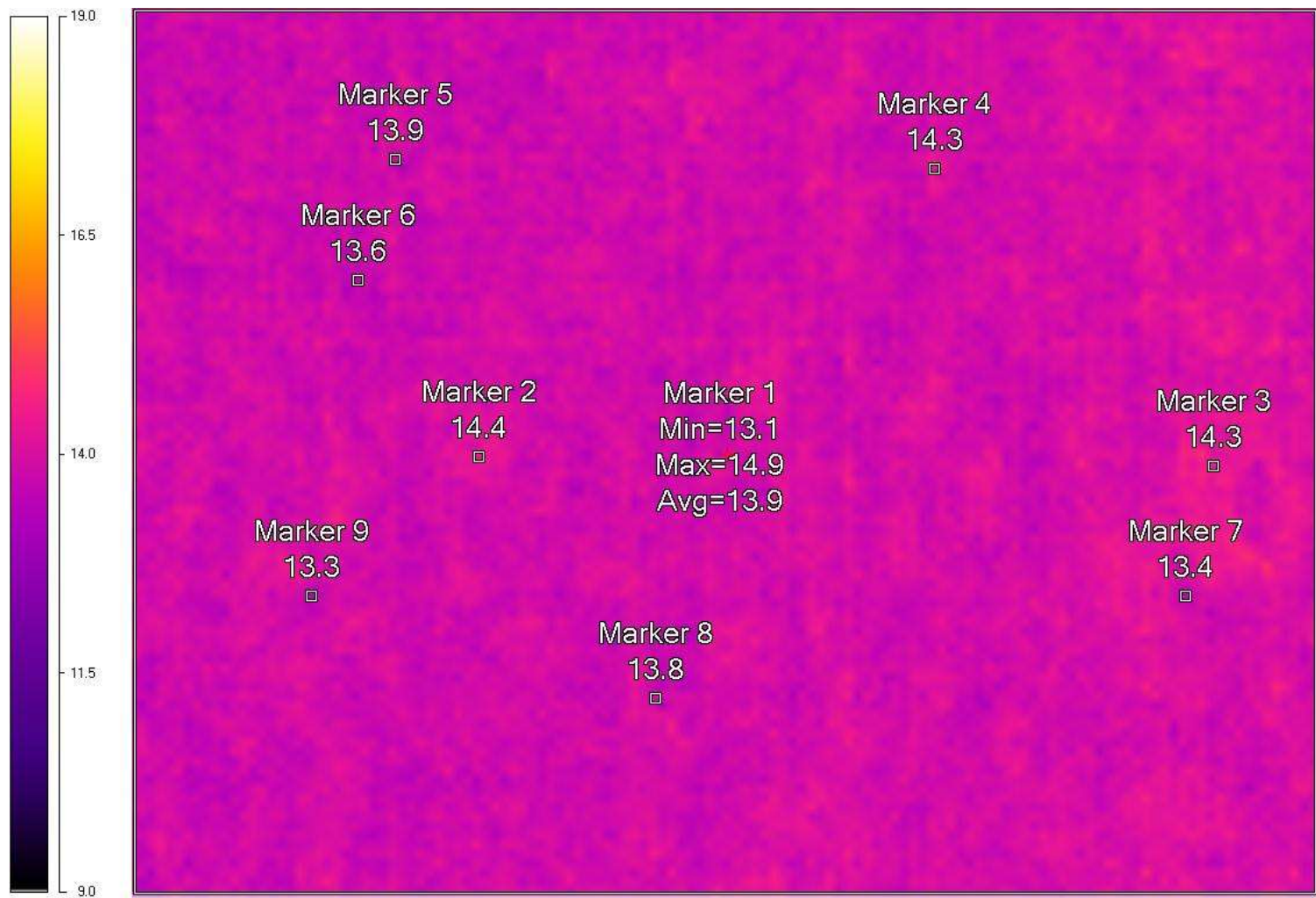
Serres Ovation : Complexe 2	Flux photonique cumulé (mol m ⁻² j ⁻¹ PAR)							% additionné par EA		Durée		
	Période et date	Extérieur de la serre	Intérieur de la serre	Addition par HPS	Addition par DEL	Total HPS	Total DEL	Total Témoin	HPS	DEL	Heures EA /j	# jours
<i>Période 1 : 17 février au 14 mars 2013</i>	16,58	12,06	0,00	0,00	12,06	12,06	12,06	0,0	0,0	0,0	26	
<i>Période 2 : 15 mars au 7 avril 2013</i>	29,33	21,32	7,76	4,18	29,08	25,50	21,32	36,4	19,6	12,1	24	
<i>Période 3 : 8 avril au 26 mai 2013</i>	33,95	24,68	8,00	4,31	32,68	28,99	24,68	32,4	17,5	12,5	49	
<i>Période 4 : 15 mars au 26 mai 2013</i>	32,43	23,58	7,92	4,27	31,49	27,84	23,58	33,6	18,1	12,4	73	
<i>Période 5 : 27 mai au 29 juin 2013</i>	35,49	25,80	0,00	0,00	25,80	25,80	25,80	0,0	0,0	0,0	34	
Total : 17 février au 29 juin 2013	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	12,4	133	
2013-06-20	58,95	42,86	0,00	0,00	42,86	42,86	42,86	0,0	0,0		0	4
2013-06-21	44,36	32,25	0,00	0,00	32,25	32,25	32,25	0,0	0,0		0	5
2013-06-22	11,02	8,01	0,00	0,00	8,01	8,01	8,01	0,0	0,0		0	6
2013-06-23	25,81	18,76	0,00	0,00	18,76	18,76	18,76	0,0	0,0		0	7
2013-06-24	45,24	32,89	0,00	0,00	32,89	32,89	32,89	0,0	0,0		0	1
2013-06-25	41,76	30,36	0,00	0,00	30,36	30,36	30,36	0,0	0,0		0	2
2013-06-26	17,47	12,70	0,00	0,00	12,70	12,70	12,70	0,0	0,0		0	3
2013-06-27	40,52	29,46	0,00	0,00	29,46	29,46	29,46	0,0	0,0		0	4
2013-06-28	6,28	4,57	0,00	0,00	4,57	4,57	4,57	0,0	0,0		0	5
2013-06-29	24,97	18,15	0,00	0,00	18,15	18,15	18,15	0,0	0,0		0	6
Total pour la période du bilan agronomique	4 005,4	2 911,9	578,0	311,4	3 489,9	3 223,3	2 911,9			904,0	73	133
Moyenne	30,12	21,89	4,35	2,34	26,24	24,24	21,89	19,9	10,7	6,80	0,55	

**Annexe 15 : Les Serres Lefort - Images thermiques
des parcelles 36 et 37 prises le 9 avril
2013**

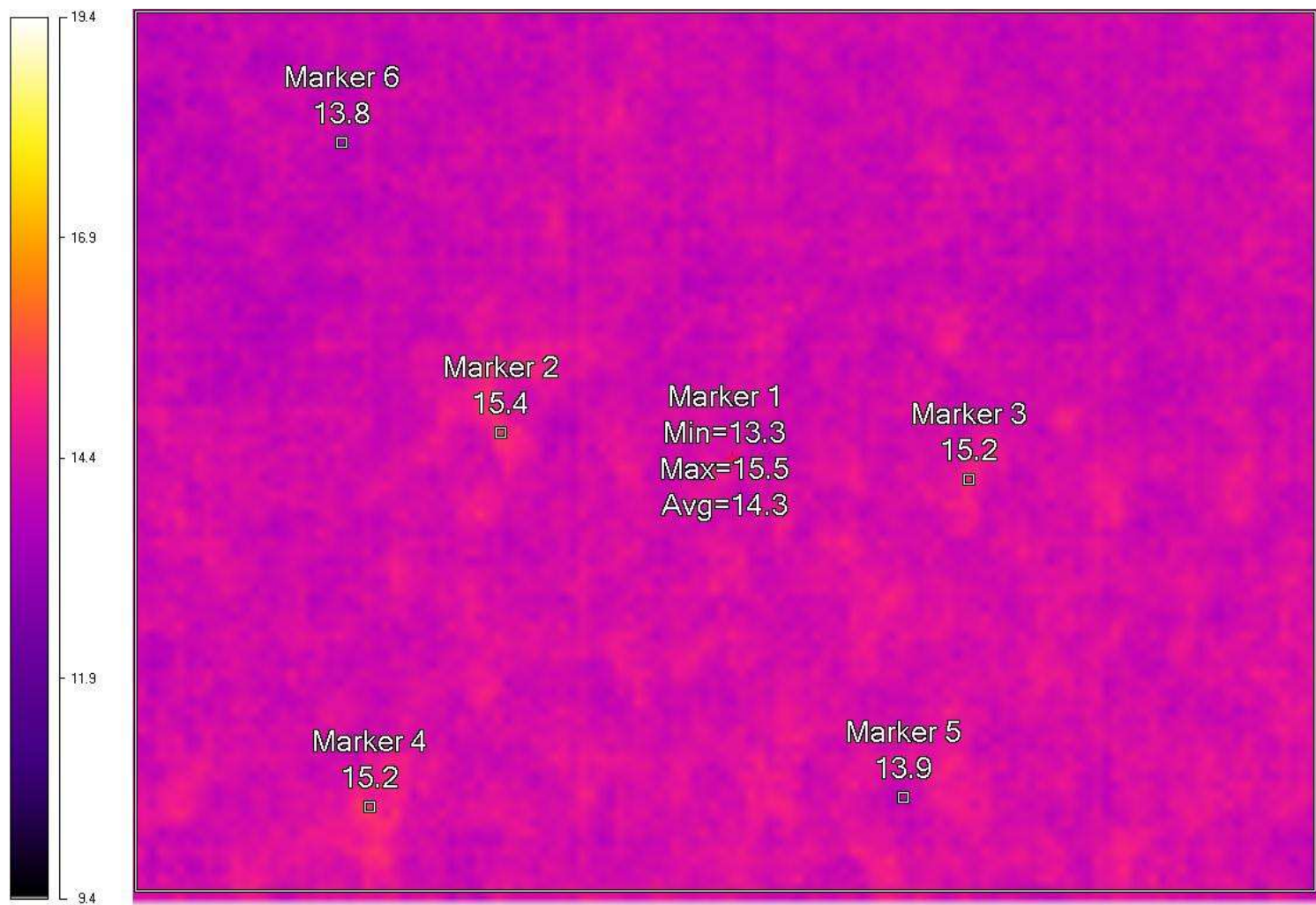
Serre 36
Parcelle (plateau) Témoin (89)



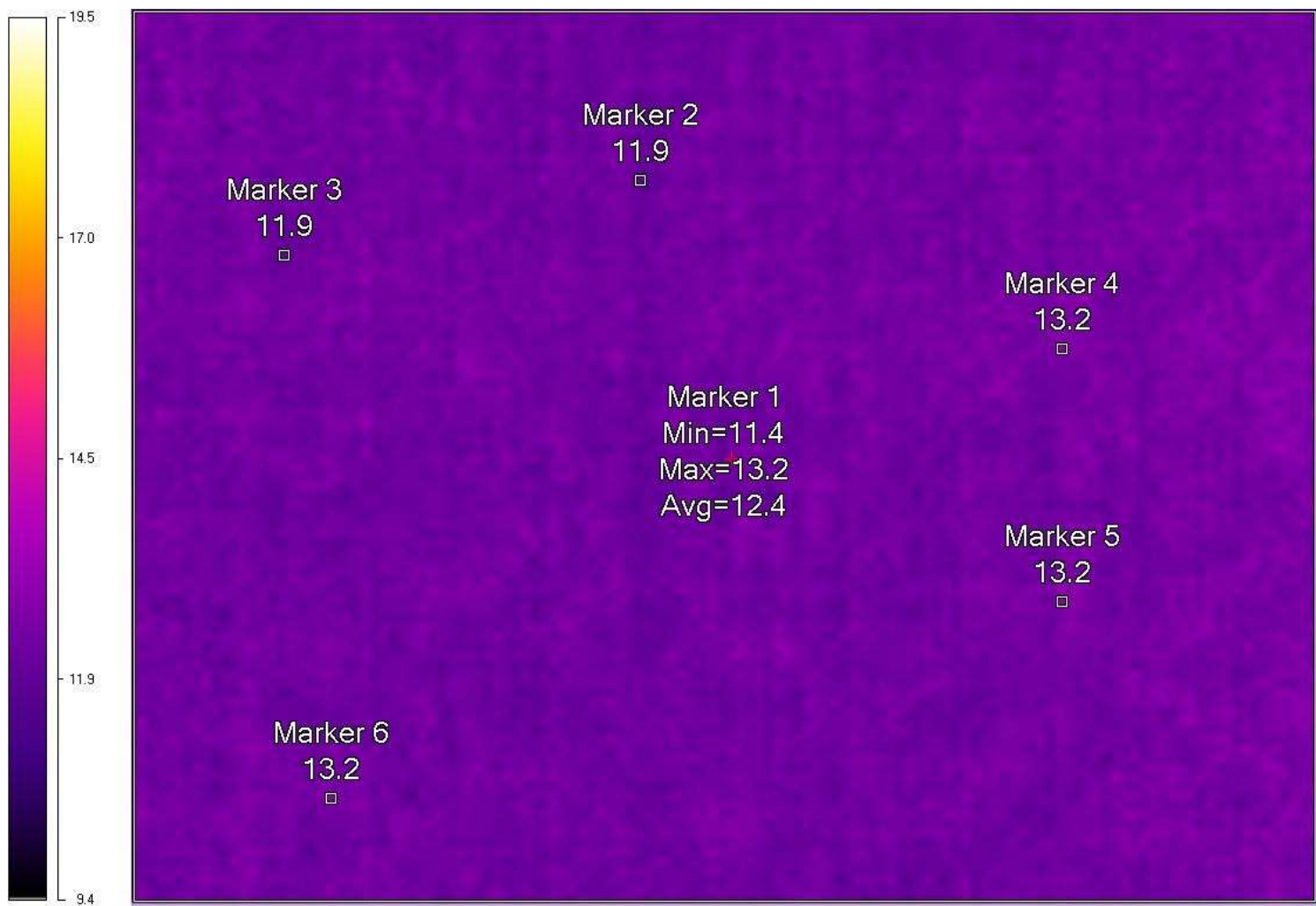
Serre 36
Parcelle (plateau) DEL (88)



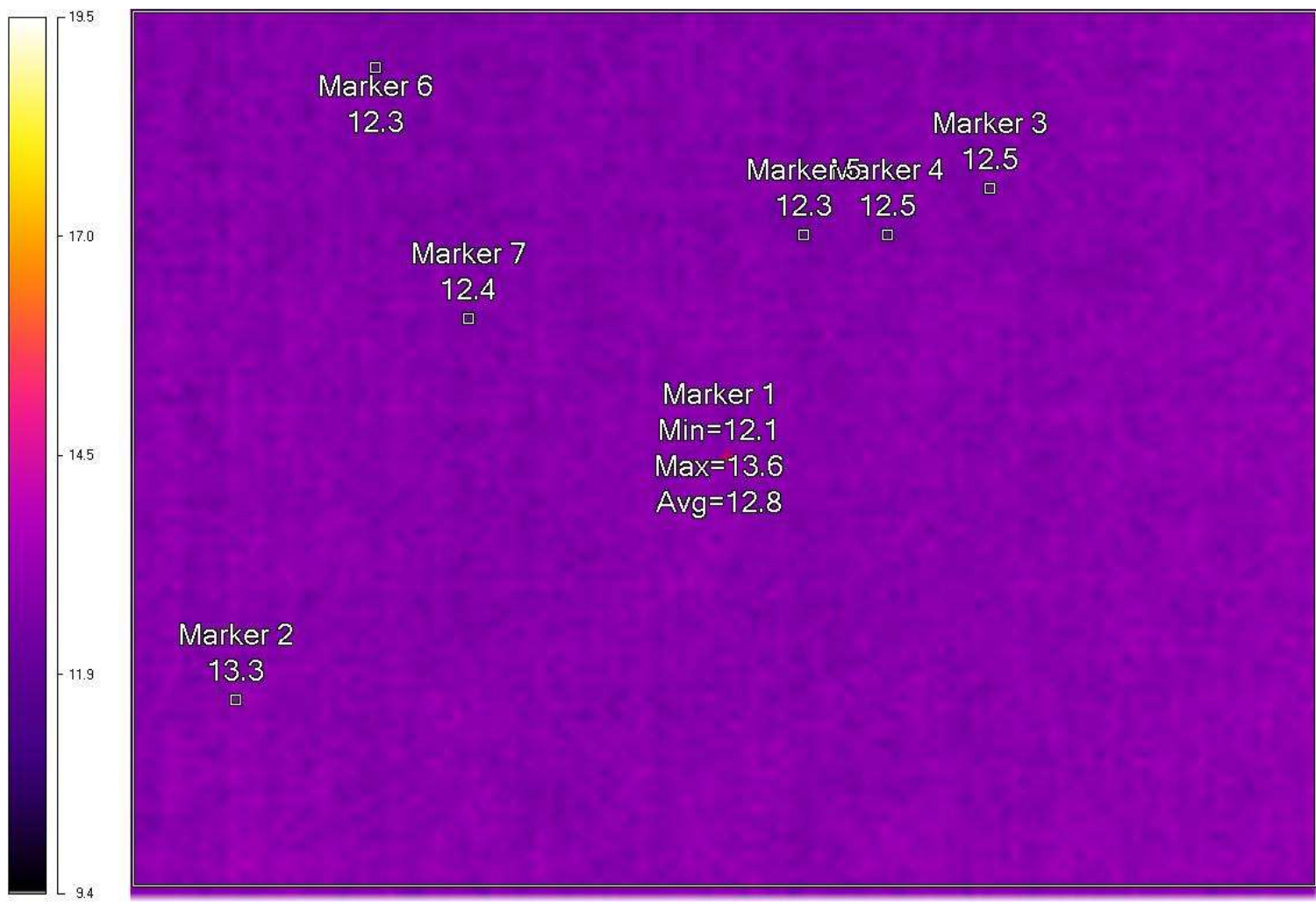
Serre 36
Parcelle (plateau) HPS (86)



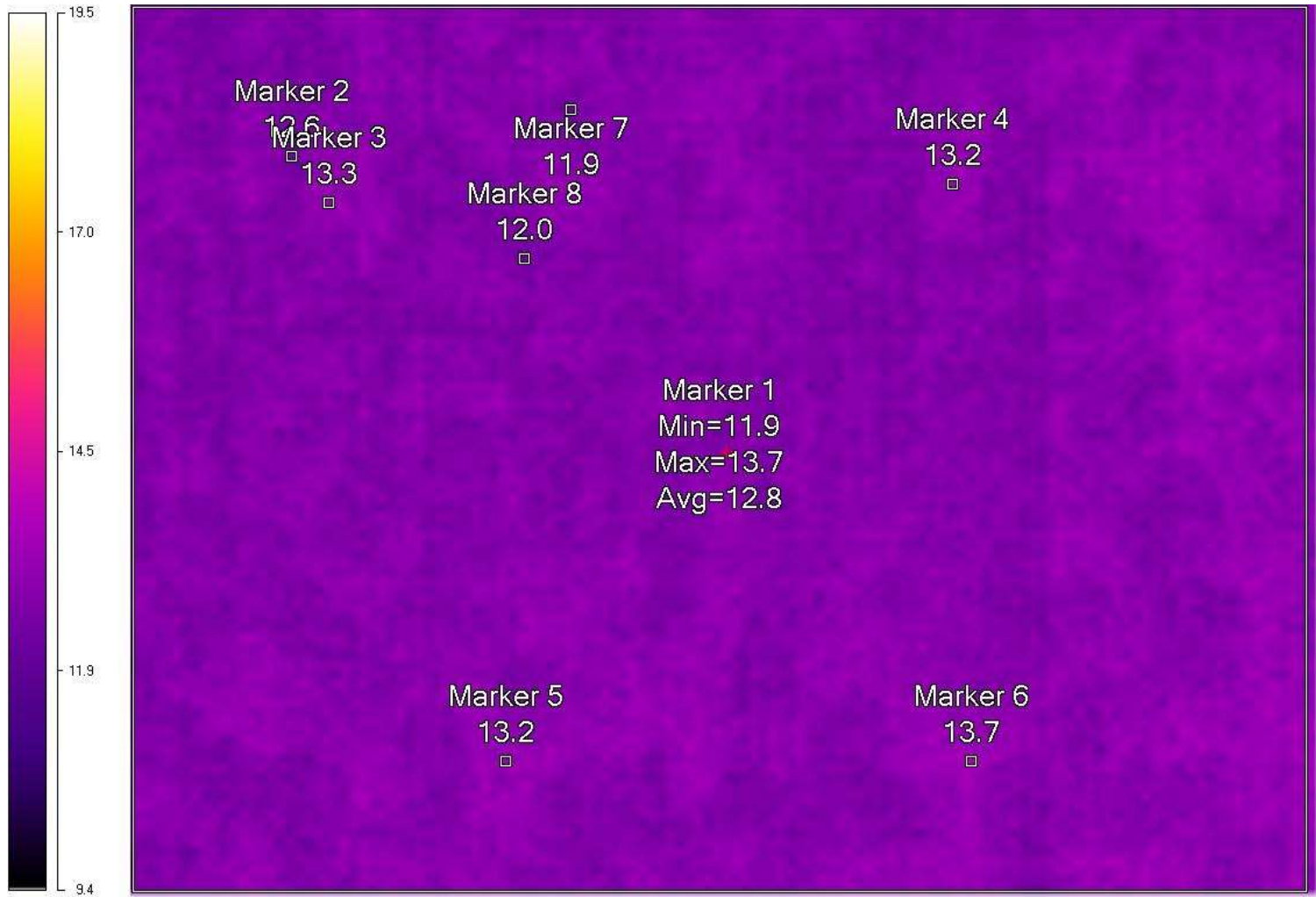
Serre 37
Parcelle (plateau) Témoin (94)



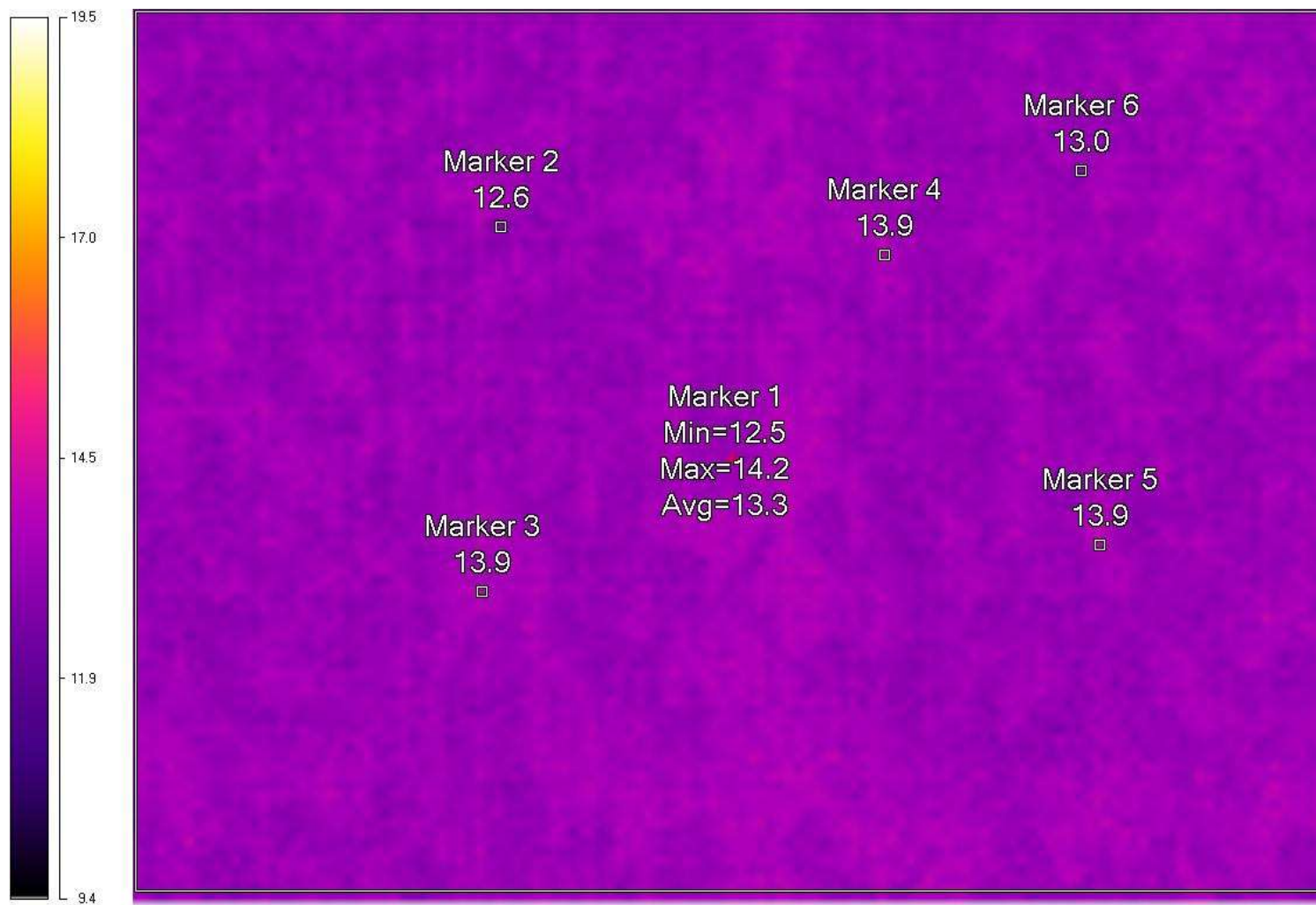
Serre 37
Parcelle (plateau) Témoin (95)



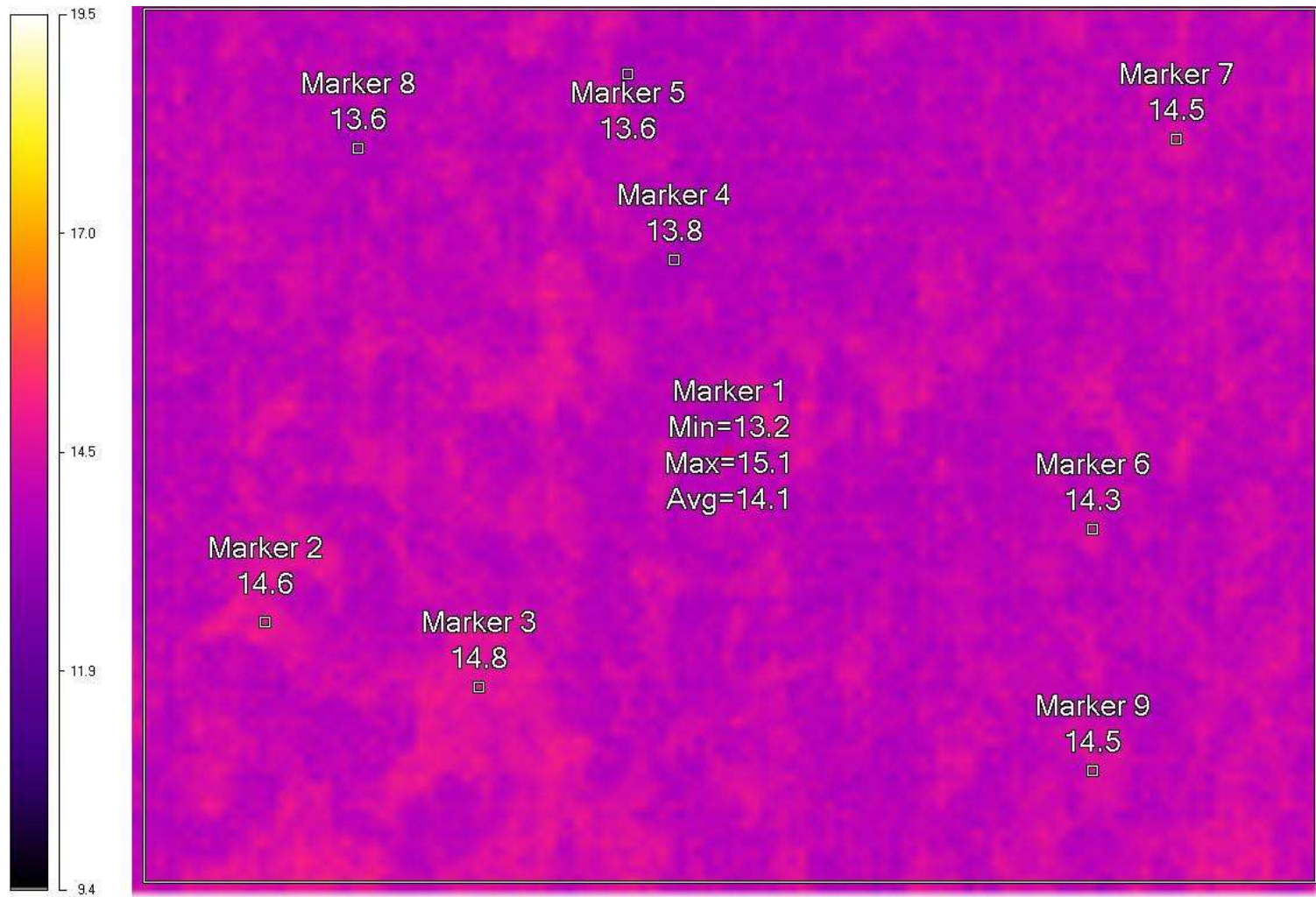
Serre 37
Parcelle (plateau) DEL (92)



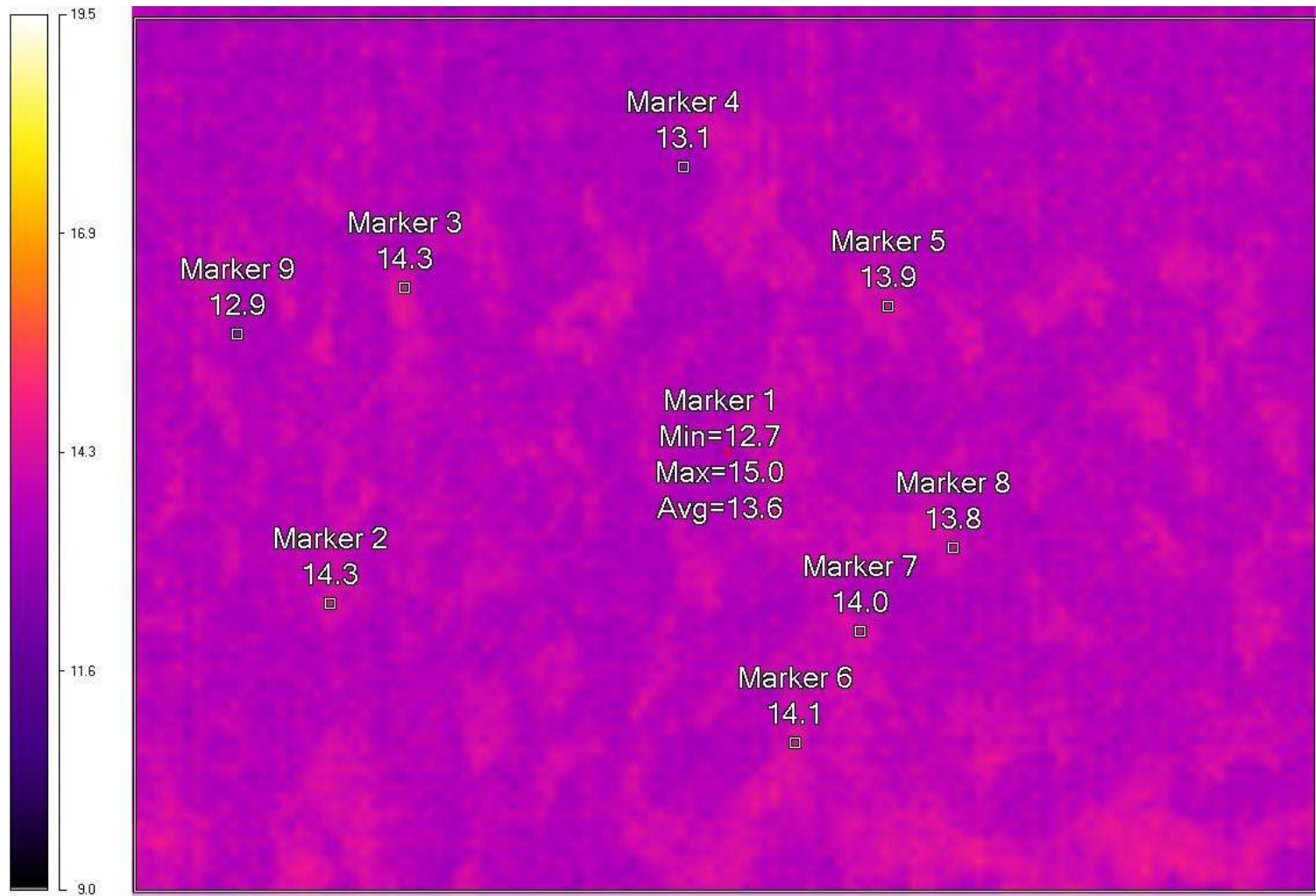
Serre 37
Parcelle (plateau) DEL (93)



Serre 37
Parcelle (plateau) HPS (90)



Serre 37
Parcelle (plateau) HPS (91)



Annexe 16 : Les Serres Lefort - Représentation tabloïde des lots dans le temps

	Lot 1		Lot 2		
	Serre 36	Serre 37	Serre 36	Serre 37	
09-février	Semis				09-février
10-février	1				10-février
11-février	1				11-février
12-février	1				12-février
13-février	1				13-février
14-février	1				14-février
15-février	1	Semis			15-février
16-février	1	1			16-février
17-février	1	1			17-février
18-février	1	1			18-février
19-février	1	1			19-février
20-février	1	1			20-février
21-février	1	1			21-février
22-février	1	1			22-février
23-février	1	1			23-février
24-février	1	1			24-février
25-février	1	1			25-février
26-février	1	1			26-février
27-février	1	1			27-février
28-février	1	1			28-février
01-mars	1	1			01-mars
02-mars	1	1			02-mars
03-mars	1	1			03-mars
04-mars	1	1			04-mars
05-mars	1	1			05-mars
06-mars	1	1			06-mars
07-mars	1	1			07-mars
08-mars	1	1			08-mars
09-mars	1	1			09-mars
10-mars	1	1			10-mars
11-mars	1	1	Semis		11-mars
12-mars	0,2	1	1		12-mars
13-mars		1	1		13-mars
14-mars		1	1		14-mars
15-mars		1	1		15-mars
16-mars		1	1		16-mars
17-mars		1	1		17-mars
18-mars		0,2	1		18-mars
19-mars			1		19-mars
20-mars			1		20-mars
21-mars			1	Semis	21-mars
22-mars			1	1	22-mars
23-mars			1	1	23-mars
24-mars			1	1	24-mars
25-mars			1	1	25-mars
26-mars			1	1	26-mars
27-mars			1	1	27-mars
28-mars			1	1	28-mars
29-mars			1	1	29-mars
30-mars			1	1	30-mars
31-mars			1	1	31-mars
01-avril			1	1	01-avril
02-avril			1	1	02-avril
03-avril			1	1	03-avril
04-avril			1	1	04-avril
05-avril			1	1	05-avril
06-avril			1	1	06-avril
07-avril			1	1	07-avril
08-avril			1	1	08-avril
09-avril			0,2	1	09-avril
10-avril				1	10-avril
11-avril				1	11-avril
12-avril				1	12-avril
13-avril				1	13-avril
14-avril				1	14-avril
15-avril				1	15-avril
16-avril				0,1	16-avril
# de jours du semis	30,2	30,2	27,2	25,1	# de jours du semis
# de jours pour le traitement	24,2	25,2	22,2	19	# de jours pour le traitement

Annexe 17 : Les Serres Lefort - Prise de données de lumière avec les capteurs d'Onset Computer (Hobo)

Le tableau Q.1 présente la moyenne des valeurs de lumière prises avec les capteurs de la compagnie Onset Computer selon le montage expérimental initialement prévu. Les valeurs moyennes proviennent de 30 données sur une heure pour différentes périodes (serre 36).

Tableau Q.1 - Valeurs moyennes obtenues suite à la prise de 30 données de lumière pour différentes périodes

Date	Période	Heure		HPS	DEL	Témoin	Commentaires
		Début	Fin				
				W/m ²	W/m ²	W/m ²	
2013-02-25	1	07:30:00	08:30:00	18,3	17,1	16,1	Matin sans éclairage
	2	12:00:00	13:00:00	183,9	166,5	148,3	Mixte de jour
	3	20:00:00	21:00:00	11,9	5,6	0,6	Éclairage seulement
	4	04:00:00	05:00:00	0,6	0,6	0,6	Sans éclairage

De ces valeurs, les ratios suivants ont été évalués (voir le tableau Q.2).

Tableau Q.2 - Ratios obtenus suite à la prise de 30 données de lumière

Date	Période	Heure		Ratios			Commentaires
		Début	Début	HPS/DEL	HPS/Témoin	DEL/Témoin	
2013-02-25	1	07:30:00	08:30:00	1,07	1,14	1,06	Matin sans éclairage
	2	12:00:00	13:00:00	1,10	1,24	1,12	Mixte de jour
	3	20:00:00	21:00:00	2,13	19,83	9,33	Éclairage seulement
	4	04:00:00	05:00:00	1,00	1,00	1,00	Sans éclairage

Les ratios HPS/DEL des périodes 2 et 3 devraient être similaires. Pour tenir compte de l'apport de lumière naturelle pour la période 2, le tableau Q.3 présente le ratio de la période 2 en éliminant l'apport de la lumière naturelle (témoin) et de l'ajout du bruit de fond mesuré lors de la période 3 dans la parcelle « témoin ». Les ratios des périodes 2 (valeur nette) et 3 devraient être similaires. Ce qui n'est pas le cas. Ceci démontre que le montage expérimental initialement prévu était non approprié pour faire un bilan lumineux et ainsi refléter adéquatement les différences d'une parcelle à l'autre.

Tableau Q.3 - Ratios HPS/DEL des périodes 2, 3 et 2 (valeur nette)

Période	HPS	DEL	Témoin	Ratio HPS/DEL	Commentaires
2	183,9	166,5	148,3	1,10	Mixte de jour
3	11,9	5,6	0,6	2,13	Éclairage seulement
2 valeur nette ⁴⁶	35,7	18,2	0,6	1,93	Mixte de jour, mais en soustrayant l'apport de lumière qui provient de la lumière naturelle (témoin) et de l'ajout du bruit de fond mesuré lors de la période 3 dans la parcelle « témoin » (éclairage seulement de soir)

⁴⁶ HPS : $35,7 = 183,9 - 148,3 + 0,6$; DEL : $18,2 = 166,5 - 148,3 + 0,6$; Témoin : $0,6 = 148,3 - 148,3 + 0,6$

Annexe 18 : Spécifications techniques de l'appareil Fluke Ti20 Thermal imager

Source : Mode d'emploi (January 2006 (French)) - Fluke Ti20 Thermal Imager

Annexe D *Caractéristiques techniques*

Caractéristiques thermiques	
Échelle de température.....	-10 °C à 350 °C
Type de détecteur.....	Zone de plan focal (FPA) de l'élément thermique 80 x 60
Précision.....	± 2 °C ou 2 % (selon la valeur la plus grande)
Fidélité des mesures.....	± 1 % ou ± 1 °C, selon la valeur la plus élevée
NETD (Sensibilité thermique).....	200 mK
Indicateur de température.....	0,1 °C ou 0,2 °C
Caractéristiques optiques	
Champ de visée.....	Rectangulaire. 20° Horizontal x 15° Vertical
Diamètre minimum.....	8,1 mm à 61 cm
Résolution optique (D:T).....	75:1 ou mieux
Gamme spectrale.....	7,5 à 14 microns
Vue de la cible.....	Laser unique (IEC 825/93 Classe II, FDA LFR 1040.10 Classe II)
Champ de visée instantané.....	4,4 mrad
Commandes	
Mise au point.....	61 cm à l'infini
Échelle de température.....	choix des °C ou °F
Palettes.....	Échelle de gris, Échelle de gris inversée, Aro-en-ciel (valeur par défaut), Acier
Modes de mesure.....	Automatique ou manuel
Rétroéclairage LCD.....	Choix d'éclairage vif/atténué
Fonctionnel	
Émissivité réglable.....	0,10 jusqu'à 1,00 en incréments de 0,01
Affichage à cristaux liquides (LCD).....	70,5 mm x 53,5 mm
Température d'arrière-plan réfléchie.....	de -50 °C à 905 °C
Température de fonctionnement (ambiante).....	de 0 °C à 50 °C
Humidité relative.....	10 à 90 % sans condensation
Température d'entreposage.....	de -25 °C à 70 °C sans pile
Capacité de stockage.....	50 images
Electricité	
Alimentation.....	Batterie d'alimentation rechargeable (inclus)
Durée de vie de la batterie.....	3 heures d'utilisation continue
Durée de chargement de la batterie.....	2 heures dans l'Imager, 1 heure dans le chargeur externe (ou jusqu'à ce que le voyant vert s'allume)
Transfert de données.....	Interface USB, durée de transfert de 25 s. pour 50 images
Dispositif de stockage.....	Mémoire Flash

D-1

T120
Mode d'emploi

Autre	
Poids.....	1,2 kg
Choc.....	Semi-sinus, 11 ms, 30 g de pic selon la norme MIL-PRF-28800F
Vibrations.....	Aléatoires 6 G Sinusoïdales MIL-PRF-28800, paragraphe 4.5.5.3.1, Classe 2
Compatibilité électromagnétique	EN 61326-1

Annexe 19 : Spécifications techniques du capteur de lumière PRIVA

Article	Radiation sensor CM3P
Article number	3779207
Measurement principle	Thermopile (thermocouples)
Spectral sensitivity	305 - 2800 nm (50% spectral sensitivity points)
Sensitivity	7 - 25 $\mu\text{V}/\text{Wm}^{-2}$ (see calibration certificate)
Response time	18 s (95%)
Measurement range	-100 - 2000 Wm^{-2}
Output range	-1 - 80 mV (depending on the sensitivity, see calibration certificate)
Course	< 1% per year
Non-linearity	+/- 2.5% (< 1000 Wm^{-2})
Ambient temperature	-40 - +80 °C

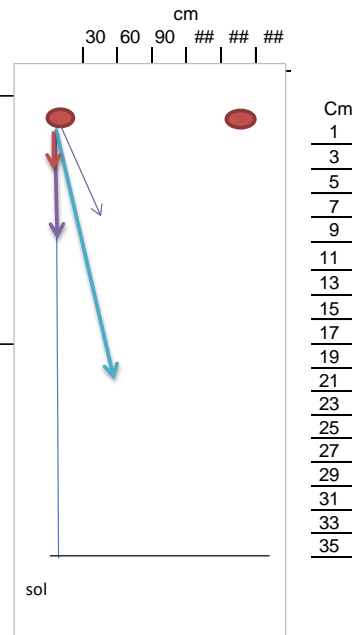
Annexe 20 : Serres Ovation - Lecture sur le plan vertical (prise de données lumière)

Lectures sur le plan vertical

Distance du centre de la lampe

Angle degrés	Lecture	Complexe 2 DEL Position	Distance du centre de la lampe			Distance du sol
			Directe	Verticale	Horizontale	
	a	directement sous la lampe	30	30	0	130
	b	directement sous la lampe	100	100	0	
36,9	c	bordure feuilles dans l'allée	100	80	60	
14,7	d	Bordure feuille allée	236	228	60	
Distance du sol à la lampe 141 pouces			358			
16,3	équivalent de substitution		100	96	28	

Lecture	Complexe 2HPS Position	Distance du centre de la lampe			Distance du sol
		Directe	Verticale	Horizontale	
a	directement sous la lampe	45	45	0	130
b	directement sous la lampe	100	100	0	
c	bordure feuille dans l'allée	100	80	60	
d	Bordure feuille allée	253	246	60	
Distance du sol à la lampe 148 pouces		376			
Distance entre les broches de support		58			
Distance entre les lumières allée 1		165			
Distance entre les lumières allée 2		168			



V/H	Degrés	Lecture	Arc tangent	Distance lampe voisine	Degrés
Tan	angle			cm	angle
		Position			
1,3333	36,9	c	0,9272952	105,42	52,8
3,800	14,7	d	1,3134726	105,42	24,8
3,429	16,3	d	1,2870022	105,42	47,7 ^A

Note sur la lentille du luminaire DEL :

Les luminaires DEL sont dotés de lentilles secondaires donnant un angle de dispersion elliptique de 44° dans le sens perpendiculaire à la lampe (donnant 22 degrés chaque côté) et de 17° dans le sens longitudinal de lampe « Full With Half Maximum intensity (FWHM) ». La lentille primaire de la DEL utilisée émet sur un angle circulaire de 120 degrés FWHM. Ces angles de dispersion ne produisent cependant pas des coupures nettes. Ceci a pour conséquence qu'une bonne partie de l'émission se concentrera surtout à l'intérieur des broches de support de culture là où la lumière naturelle pénètre peu (en comparaison de l'allée)

^A à l'intérieur de la broche de tuteurage.

Lectures sur le plan longitudinal

7 lectures sur 11 mètres (36 pieds)

À partir du premier plant récolté sur le côté gauche

DEL : 0,61m (2 pi) à partir du début de la barre DEL

HPS : sous la première Lampe

Lectures des bordures feuilles (c&d) 3/4

DEL	Sur les côtés récoltés 1 & 2 & 4	2.2.4 S&N	2.2.3 N	1.2.2 N&S	1.2.3 S
HPS	Sur les côtés récoltés 1 & 3 & 4	2.6.4 S&N	2.6.3 N	1.4.2 N&S	1.4.3 S

Annexe 21 : Serres Ovation - Complexe 1 - Données pour la prise de données du 26 mars 2013

Complexe 1 DEL														
	allée & coté: 1.2.2.N				allée & coté: 1.2.2.S				allée & coté: 1.2.3.S				Moyenne des groupes	
	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles			
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d		
Position														
1	230	168	50	56	278	190	73	50	642	184	64	67		
2	640	181	62	45	662	198	64	44	625	193	66	52		
3	607	120	54	62	635	160	45	63	640	130	60	50		
4	639	191	56	64	640	174	47	45	627	189	70	68		
5	632	160	68	68	100	122	41	65	220	186	58	58		
6	222	120	54	45	215	161	61	61	93	153	55	62		
7	92	149	60	47	214	191	54	48	213	160	23	48		
Moyenne	437	156	58	55	392	171	55	54	437	171	57	58		
STD	244	28	6	10	243	26	12	9	248	24	16	8		
STD%	56	18	10	18	62	15	21	17	57	14	28	14		
Moyenne	90				93				95				93	
Moyenne	57				54				57				56	
	Moyenne de chaque position								422	166	56	56	175	

Pour le bilan lumineux Complexe 1 DEL

Position	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne bcd
	a	b	c	d	
Moyenne	422	166	56	56	92,6
STD	245	26	11	9	15,3
STD%	58	16	20	16	16,5

165,7	132,6	55,6	118,0
-------	-------	------	--------------

valeur à l'intérieur du cône de la lentille.

Corrigé pour le multiplicateur du licore à 116,2 versus 144 lors de la prise de données

Pour le bilan lumineux Complexe 1 DEL

Position	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne bcd
	a	b	c	d	
Moyenne	338	133	45	44	74,1
STD	196	21	9	7	12,2
STD%	58	16	20	16	16,5

133	106	44	94,4
-----	-----	----	-------------

valeur à l'intérieur du cône de la lentille.

Intensité non conciliée selon le flux	95,7
--	-------------

Très semblable, plants plus bas que dans le complexe 2 = moins d'interférence

Annexe 22 : Serres Ovation - Complexe 2 - Données pour la prise de données du 26 mars 2013

Complexe 1 HPS													
allée & coté: 1.4.2.N				allée & coté: 1.4.2.S				allée & coté: 1.4.3.S				Moyenne des groupes	
Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles			
a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d		
1	970	290	370	81	880	301	401	64	870	189	226	128	
2	54	182	248	100	180	353	282	81	126	114	112	127	
3	33	115	120	93	34	150	132	73	21	141	165	83	
4	930	293	377	102	780	182	177	67	820	285	420	107	
5	70	145	166	143	140	306	370	94	50	167	179	60	
6	30	72	73	112	46	185	221	103	62	63	174	96	
7	1100	106	100	150	540	150	206	74	1073	307	430	55	
Moyenne	455	172	208	112	371	232	256	79	432	181	244	94	
STD	512	89	126	26	357	85	100	14	465	88	128	29	
STD%	113	51	61	23	96	36	39	18	108	49	53	31	
Moyenne	164				189				173			175	
Moyenne	160				168				169			165	
					Moyenne de chaque position				419	195	236	95	236

Pour le bilan lumineux Complexe 1 HPS

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne bcd
Position	a	b	c	d	
Moyenne	419	195,0	235,7	94,9	175,2
STD	445	87	118	23	76,2
STD%	106	45	50	24	43,5

Pour le bilan lumineux Complexe 1 HPS

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne bcd
Position	a	b	c	d	
Moyenne	336	156,0	188,5	75,9	140,2
STD	356	70	95	19	61,0
STD%	106	45	50	24	43,5

Intensité non conciliée selon le flux	187,9
--	--------------

La lampe no 12 du complexe 1 et la lampe no 5 du complexe 2 située à l'extrémité du 3e rang et 2e rang sont non fonctionnelles. Étant situées sur la limite transversale de la parcelle, ces lampes comptent pour ½ lampe.

Annexe 23 : Serres Ovation - Sommaire des lectures corrigées $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (26 mars 2013)

26 mars 2013

Complexe 1 DEL

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	338	133	106	44	155
Moyenne STD	196	21	17	7	
Moyenne STD %	58	16	16	16	

Complexe 2 DEL

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	376	123	47	21	142
Moyenne STD	186	30	6	7	
Moyenne STD %	50	25	12	35	

Moyenne des complexes 1 et 2 DEL

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	357	128	77	33	149
Moyenne STD	191	26	11	7	
Moyenne STD %	54	20	14	26	

26 mars 2013

Complexe 1 HPS

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	336	156	189	76	189
Moyenne STD	356	70	95	19	
Moyenne STD %	106	45	50	24	

Complexe 2 HPS

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	375	159	259	57	213
Moyenne STD	424	78	153	14	
Moyenne STD %	113	49	59	25	

Moyenne des complexes 1 et 2 HPS

	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Position					
Moyenne de chaque position	356	157	224	66	201
Moyenne STD	390	74	124	16	
Moyenne STD %	110	47	55	25	

Annexe 24 : Serres Ovation - Complexes 1 et 2 - Prises de données du 26 mars et 14 mai 2013

Sommaire

26-mars-13

Complexe 1 DEL					
Position	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Moyenne de chaque position	422	166	56	56	93
Moyenne STD	245	26	11	9	
Moyenne STD %	58	16	20	16	17

Complexe 2 DEL					
Moyenne de chaque position	471	154	59	27	80
Moyenne STD	233	38	7	9	
Moyenne STD %	50	25	12	35	24

Complexe 1 HPS					
Position	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Moyenne de chaque position	419	195	236	95	175
Moyenne STD	445	87	118	23	
Moyenne STD %	106	45	50	24	40

Complexe 2 HPS					
Moyenne de chaque position	469	198	324	71	198
Moyenne STD	530	98	191	18	
Moyenne STD %	113	49	59	25	44

Moyenne DEL les deux complexes					
Position	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Moyenne des groupes
	a	b	c	d	
Moyenne de chaque position	446	160	58	41	86
Moyenne STD	239	32	9	9	
Moyenne STD %	54	20	16	26	21

Moyenne HPS des deux complexes					
Moyenne de chaque position	444	197	280	83	187
Moyenne STD	488	93	155	20	
Moyenne STD %	110	47	55	25	42

14-mai-13

Complexe 1 DEL				
Position	à 1 m		à 2,36 m	Moyenne des groupes
	0 degré	18 degrés	Dans l'allée	
Moyenne de chaque position	113	46	12	57
Moyenne STD	42	17	5	
Moyenne STD %	37	37	38	37

Complexe 2 DEL				
Moyenne de chaque position	115	69	14	66
Moyenne STD	44	19	6	
Moyenne STD %	38	28	42	36

Complexe 1 HPS				
Position	à 1 m		à 2,36 m	Moyenne des groupes
	0 degré	18 degrés	Dans l'allée	
Moyenne de chaque position	118	207	27	117
Moyenne STD	74	124	11	
Moyenne STD %	62	60	40	54

Complexe 2 HPS				
Moyenne de chaque position	185	236	24	148
Moyenne STD	106	124	10	
Moyenne STD %	57	53	42	51

Moyenne DEL les deux complexes				
Position	à 1 m		à 2,36 m	Moyenne des groupes
	0 degré	18 degrés	Dans l'allée	
Moyenne de chaque position	114	58	13	61
Moyenne STD	43	18	5	
Moyenne STD %	38	32	40	37

Moyenne HPS des deux complexes				
Moyenne de chaque position	152	221	25	133
Moyenne STD	90	124	11	
Moyenne STD %	60	56	41	52

Le 14 mai, les plants étaient plus près des lampes ce qui a contribué à réduire les valeurs et accroître la STD

Serres Ovation 26 mars 2013

Reading $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

Complexe 1 DEL													
Position	allée & côté: 1.2.2.N gauche				allée & côté: 1.2.2.S droite				allée & côté: 1.2.3.S droite				Moyenne des groupes
	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	
1	230	168	50	56	278	190	73	50	642	184	64	67	
2	640	181	62	45	662	198	64	44	625	193	66	52	
3	607	120	54	62	635	160	45	63	640	130	60	50	
4	639	191	56	64	640	174	47	45	627	189	70	68	
5	632	160	68	68	100	122	41	65	220	186	58	58	
6	222	120	54	45	215	161	61	61	93	153	55	62	
7	92	149	60	47	214	191	54	48	213	160	23	48	
Moyenne	437	156	58	55	392	171	55	54	437	171	57	58	
STD	244	28	6	10	243	26	12	9	248	24	16	8	
STD%	56	18	10	18	62	15	21	17	57	14	28	14	
Moyenne		90			93				95				93
Moyenne		57			54				57				56
					Moyenne de chaque position				422	166	56	56	175

Complexe 1 HPS													
Position	allée & côté: 1.4.2.N gauche				allée & côté: 1.4.2.S droite				allée & côté: 1.4.3.S droite				Moyenne des groupes
	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	
1	970	290	370	81	880	301	401	64	870	189	226	128	
2	54	182	248	100	180	353	282	81	126	114	112	127	
3	33	115	120	93	34	150	132	73	21	141	165	83	
4	930	293	377	102	780	182	177	67	820	285	420	107	
5	70	145	166	143	140	306	370	94	50	167	179	60	
6	30	72	73	112	46	185	221	103	62	63	174	96	
7	1100	106	100	150	540	150	206	74	1073	307	430	55	
Moyenne	455	172	208	112	371	232	256	79	432	181	244	94	
STD	512	89	126	26	357	85	100	14	465	88	128	29	
STD%	113	51	61	23	96	36	39	18	108	49	53	31	
Moyenne		164			189				173				175
Moyenne		160			168				169				165
					Moyenne de chaque position				419	195	236	95	236

Serres Ovation 26 mars 2013

Reading $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

Complexe 2 DEL (plants plus hauts de 8 à 12 po que complexe 1)

Position	allée & côté: 2.2.4.S droite				allée & côté: 2.2.4.N gauche				allée & côté: 2.2.3.N gauche				Moyenne des groupes
	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	
1	241	162	62	25	667	140	64	20	280	82	70	45	
2	680	210	41	23	689	194	63	26	660	96	62	34	
3	625	81	45	37	715	177	58	27	620	169	64	34	
4	456	185	60	21	608	180	51	23	588	158	71	13	
5	625	194	52	18	620	137	65	20	621	121	54	28	
6	452	121	56	20	221	192	51	38	215	161	75	53	
7	91	154	60	12	106	125	54	17	102	192	58	24	
Moyenne	453	158	54	22	518	164	58	24	441	140	65	33	
STD	219	45	8	8	247	29	6	7	233	41	8	13	
STD%	48	28	15	35	48	18	11	28	53	29	12	40	
Moyenne		78				82				79			80
Moyenne		38				41				49			43
		Moyenne de chaque position				471	154	59	27				177

Complexe 2 HPS

Position	allée & côté: 2.6.4.N gauche				allée & côté: 2.6.3.S droite				allée & côté: 2.6.3.N gauche				Moyenne des groupes
	Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		Directement sous la lumière		Dans l'allée bordures feuilles		
	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	
1	962	312	450	70	1200	370	482	35	1180	317	416	89	
2	85	162	209	56	103	189	217	52	95	138	302	64	
3	20	143	143	82	68	130	127	86	30	35	95	99	
4	63	360	454	43	445	310	404	78	923	226	392	115	
5	1000	132	143	57	47	90	125	70	60	96	998	64	
6	92	142	172	82	48	137	194	60	55	120	254	60	
7	909	270	326	74	1140	265	423	75	1330	224	482	75	
Moyenne	447	217	271	66	436	213	282	65	525	165	420	81	
STD	478	95	138	15	521	104	150	17	592	95	285	21	
STD%	107	44	51	22	119	49	53	27	113	58	68	26	
Moyenne		185				187				222			198
Moyenne		169				173				250			197
		Moyenne de chaque position				469	198	324	71				266

Dans le mesurage HPS, les lectures ont été prises aux endroits où il a été jugé avec peu d'effet par les lumières non fonctionnelles.

Cependant, 7 mesures ont été conservées.

Serres Ovation 14 mai 2013

Reading $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

Complexe 1 DEL Estimé de la distance plants lumière 18 à 20 cm										
Position	allée & côté: 1.2.2.N gauche			allée & côté: 1.2.2.S droite			allée & côté: 1.2.3.S droite			Moyenne des groupes
	à 1 m		à 2,36 m	à 1 m		à 2,36 m	à 1 m		à 2,36 m	
	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	
	b	e	d	b	e	d	b	e	d	
1	176	19	23	124	60	14	78	50	7	
2	145	61	8	131	26	9	110	49	10	
3	51	33	16	160	69	12	80	52	22	
4	113	31	14	140	22	11	86	63	11	
5	170	49	9	57	30	8	140	36	4	
6	102	43	14	71	75	12	135	65	6	
7	160	62	12	127	35	12	12	32	19	
Moyenne	131	43	14	116	45	11	92	50	11	
STD	45	16	5	37	22	2	43	12	7	
STD%	34	38	36	32	49	18	47	25	60	
Moyenne	87			81			71			79
				Moyenne de chaque position			113	46	12	57

Complexe 1 HPS Estimé de la distance plant-lumière 45 à 50 cm										
Position	allée & côté: 1.4.2.N gauche			allée & côté: 1.4.2.S droite			allée & côté: 1.4.3.S droite			Moyenne des groupes
	à 1 m		à 2,53 m	à 1 m		à 2,36 m	à 1 m		à 2,36 m	
	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	
	b	e	d	b	e	c	b	e	c	
1	222	384	21	126	153	33	38	330	37	
2	61	129	23	47	86	24	40	92	18	
3	80	106	60	250	360	22	69	217	16	
4	139	302	29	98	125	34	124	204	12	
5	77	72	35	115	178	28	225	95	13	
6	223	368	54	265	410	20	50	354	23	
7	108	118	32	94	177	9	32	77	16	
Moyenne	130	211	36	142	213	24	83	196	19	
STD	68	135	15	83	123	9	70	114	9	
STD%	52	64	41	58	58	35	85	59	45	
Moyenne	171			177			139			162
				Moyenne de chaque position			118	207	27	117

Serres Ovation 14 mai 2013

Reading $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$

Complexe 2 DEL Estimé de la distance plants-lumière 25 à 30 cm										
Position	allée & côté: 2.2.4.S droite			allée & côté: 2.2.4.N gauche			allée & côté: 2.2.3.S droite			Moyenne des groupes
	à 1 m		à 2,36 m	à 1 m		à 2,36 m	à 1 m		à 2,36 m	
	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	
	b	e	d	b	e	d	b	e	d	
1	142	96	12	140	41	16	150	67	17	
2	75	35	10	153	77	8	128	51	12	
3	145	45	19	75	130	17	156	67	5	
4	64	75	10	72	95	9	110	40	10	
5	60	58	28	131	92	15	127	55	20	
6	153	59	21	179	118	8	50	59	16	
7	163	60	24	98	86	7	41	52	6	
Moyenne	115	61	18	121	91	11	109	56	12	
STD	46	20	7	41	29	4	46	10	6	
STD%	40	32	41	34	32	38	42	17	46	
Moyenne	88			106			82			92
				Moyenne de chaque position			115	69	14	66

Complexe 2 HPS Estimé de la distance plants-lumière 85 à 90 cm										
Position	allée & côté: 2.6.4.N gauche			allée & côté: 2,6,3S droite			allée & côté: 2,6,3N gauche			Moyenne des groupes
	à 1 m		à 2,53 m	à 1 m		à 2,53 m	à 1 m		à 2,53 m	
	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	0 degré	18 degrés	bordure feuilles	
	b	e	d	b	e	c	b	e	c	
1	240	273	20	150	440	26	138	350	35	
2	99	195	17	210	152	10	72	67	51	
3	162	88	40	138	210	24	336	210	36	
4	210	270	26	200	448	21	192	410	30	
5	53	252	10	186	112	28	42	120	9	
6	203	82	14	91	291	18	379	423	28	
7	350	270	34	363	182	17	76	108	16	
Moyenne	188	204	23	191	262	21	176	241	29	
STD	97	86	11	86	136	6	134	151	14	
STD%	52	42	47	45	52	30	76	63	47	
Moyenne	196			227			209			211
				Moyenne de chaque position			185	236	24	148

Annexe 25 : Taux d'absorption de la lumière des feuilles dans le PAR en fonction des longueurs d'onde

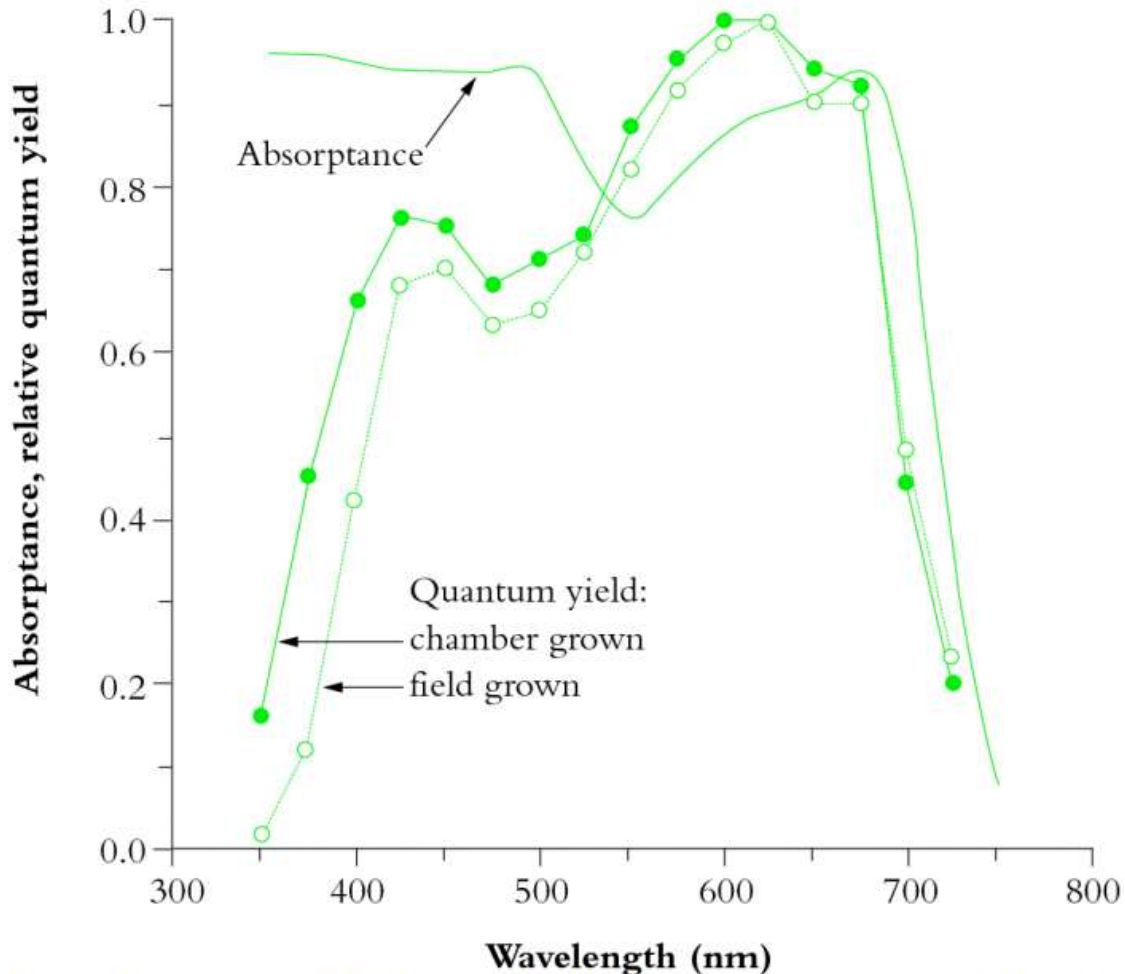


Figure 1.9 Leaves absorb visible light very effectively (>90% for all wavelengths combined; solid curve). Wavelengths corresponding to green light are absorbed less effectively (absorbance drops to c. 0.75). Beyond 700 nm (infrared band) absorbance drops to near zero, and forestalls leaf heating from this source of energy. Quantum yield is referenced to values obtained in red light (600-625 nm), which is most effective in driving photosynthesis, requiring about 10 quanta per CO₂ assimilated (based on high-precision leaf gas exchange) compared with about 12 quanta at the blue peak (450 nm). Quantum yield shows a bimodal response to wavelength. Absorbance drops beyond 700 nm but quantum yield drops off even faster because PSII (responsible for O₂ generation) absorbs around 680 nm and cannot use quanta at longer wavelengths in this measuring system. UV wavelengths (below 400 nm) are capable of driving photosynthesis, but as a protective adaptation vascular plants accumulate a chemical 'sunscreen' in response to UV exposure. Field-grown plants are especially rich in these substances so that absorbed UV is dissipated harmlessly, lowering quantum yield compared with growth-chamber plants. (Based on McCree 1972)

Source : <http://plantsinaction.science.uq.edu.au/edition1/?q=content/1-2-2-chlorophyll-absorption-and-photosynthetic-action-spectra>

Annexe 26 : Serres Ovation - Définition détaillée des périodes pour le traitement des données

Définition des périodes		13 mars au 26 mars	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	06:55:51	17:04:56
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	17:04:56	19:04:56
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	19:04:56	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	06:55:51
Définition des périodes		27 mars au 9 avril	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	06:29:00	17:23:26
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	17:23:26	19:23:26
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	19:23:26	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	06:29:00
Définition des périodes		10 avril au 23 avril	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	06:03:13	17:41:51
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	17:41:51	19:41:51
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	19:41:51	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	06:03:13
Définition des périodes		24 avril au 7 mai	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	05:40:04	18:00:13
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	18:00:13	20:00:13
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	20:00:13	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	05:40:04
Définition des périodes		8 mai au 21 mai	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	05:21:04	18:17:34
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	18:17:34	20:17:34
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	20:17:34	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	05:21:04
Définition des périodes		22 mai au 4 juin	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	05:07:51	18:32:30
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	18:32:30	20:32:30
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	20:32:30	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	05:07:51
Définition des périodes		5 juin au 18 juin	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	05:02:21	18:43:17
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	18:43:17	20:43:17
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	20:43:17	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	05:02:21
Définition des périodes		19 juin au 2 juillet	
		Heure de début	Heure de fin
1	Lever du soleil à 2 hrs av.coucher du soleil	05:04:00	18:47:30
2	2 hrs av.coucher du soleil au Coucher du soleil	18:47:30	20:47:30
3	Coucher du soleil à Fermeture des lampes	20:47:30	23:59:59
4	Fermeture des lampes à Lever du soleil	23:59:59	05:04:00

Les heures représentent une moyenne pour la période donnée.

Annexe 27 : Serres Ovation - Registre des substitutions de tige

Bilan des substitutions ^A pour maintenir 20 tiges récoltées par rang
au 8 juin 2013

Traitement	Allée		# Tiges	# de remplacements		Notes
				Tiges	Plants	
DEL	122	Droite SE	20	1	1	Stérile
DEL	122	Gauche	20			la dernière tige n'est plus bonne, en remplacement par Y
DEL	123	Droite	20	2	2	
DEL	123	Gauche	20	1		1 ajout sur 2 dernières semaines
Total DEL complexe 1			80	4	3	5 % de substitution
HPS	142	Droite SE	20			
HPS	142	Gauche	20			1 botrytis sur dernier plant.
HPS	143	Droite	20	1	1	1 plant stérile à 75 %
HPS	143	Gauche	20			
Total HPS complexe 1			80	1	1	1,3 % de substitution
Témoin	162	Droite SE	20			
Témoin	162	Gauche	20			
Témoin	163	Droite	20			
Témoin	163	Gauche	20			
Total témoin complexe 1			80	0	0	Pas de substitution

DEL	222	Droite	20			
DEL	222	Gauche SE	20	1	1	3e pain
DEL	223	Droite	20	1	1	
DEL	223	Gauche	20	1		
Total DEL complexe 2			80	3	2	3,8 % de substitution
Témoin	242	Droite	20			
Témoin	242	Gauche SE	20	2	1	
Témoin	243	Droite	20	1	1	
Témoin	243	Gauche	20			
Total témoin complexe 2			80	3	2	3,8 % de substitution
HPS	262	Droite	20			
HPS	262	Gauche SE	20			1 botrytis sur dernier plant.
HPS	263	Droite	20	1		1 plant étêté
HPS	263	Gauche	20			
Total HPS complexe 2			80	1	0	1,3 % de substitution

^A Une tige peut être remplacée par l'ajout d'un plant en fin de parcelle ou par l'ajout d'un drageon (Y) sur les plants d'origine ou sur le plant à l'extrémité de la parcelle.