



Rapport final

**L'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage  
dans la production en serre au Québec  
(v. 20140717)**

Projet no 6728 réalisé par le Syndicat des producteurs en serre du Québec (SPSQ)  
en partenariat avec le  
Programme Canadien d'Adaptation Agricole (PCAA)  
et le Conseil pour le Développement de l'Agriculture du Québec (CDAQ)

Période couverte par le rapport

Septembre 2012 à Décembre 2013

Rédigé par

M. Louis Dionne, directeur général du SPSQ  
M. Marco Girouard, ing.- CIDES inc.

Date de dépôt du rapport final

19 décembre 2013

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

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.

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

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

### **Équipe de réalisation**

Claudia Berger, ing. – SPSQ

Gilles Cadotte, agr. – SPSQ

Louis Dionne, directeur général – SPSQ

Gabriel Gagné-Marcotte, B.ing. – ESA (rejets thermiques et échangeurs de chaleur)

Marco Girouard, ing. – CIDES (aspects énergétiques en serre : audit, chauffe, identification des besoins, management)

Jean-Marie Niget, agr. – Innovagro Consultants (l'état de la situation)

Daniel Rousse, ing, Ph.D. – T3E (rejets thermiques et échangeurs de chaleur)

### **Membres du comité de suivi**

Geneviève Bélanger, ing. – BEIE

Jean-Marc Boudreau, ing. – MAPAQ

### **Entreprises serricoles**

Serres Demers à St-Nicéphore en partenariat avec Waste Management

Serres Francis Lemaire à Kingsey Falls en partenariat avec Boralex

Serres Jardins Nature à New Richmond

Serres Sagami à Jonquière en partenariat avec Elkem Métal

### **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 – Rapport du PCAA

	<b>Page</b>
1. Objectifs.....	5
1.1. Objectif général .....	5
1.2. Objectifs spécifiques.....	5
2. Résultats et analyse du projet .....	6
Table des matières associée à la section « Résultats et analyse du projet » .....	7
A. État de la situation .....	17
B. Étapes d'une démarche d'implantation d'un système de chauffage à l'aide de rejets thermiques industriels .....	42
C. Recommandations associées à la section « Résultats et analyse du projet ».....	113
D. Conclusion associée à la section « Résultats et analyse du projet » .....	115
E. Annexes associées à la section « Résultats et analyse du projet ».....	117
F. Bibliographie associée à la section « Résultats et analyse du projet ».....	210
3. Conclusions.....	212
4. Sommaire des accomplissements du projet.....	215

# **1. OBJECTIFS**

---

## **1.1. Objectif général**

L'objectif général de ce projet est la réalisation d'une étude visant l'utilisation de rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec.

## **1.2. Objectifs spécifiques**

Plus spécifiquement, cette étude, qui viserait à développer l'expertise technique dans le domaine, permettrait d'atteindre les objectifs suivants :

- Définir les éléments permettant aux producteurs de caractériser les besoins énergétiques des serres qui seront chauffées par des rejets thermiques industriels et leurs ressources internes et externes;
- Dresser l'état de la situation de l'utilisation des rejets thermiques dans la production en serre et identifier les modèles les plus pertinents dans le contexte actuel de production;
- Déterminer et définir les aspects techniques, économiques, légaux et environnementaux à considérer pour l'utilisation des rejets thermiques dans la production en serre;
- Valider les aspects techniques, économiques et environnementaux préalablement déterminés par l'analyse de cas.

## **2. RÉSULTATS ET ANALYSE DU PROJET**

---

## TABLES DES MATIÈRES

ÉTAT DE LA SITUATION .....	17
1. Contexte de la production en serre au Québec .....	17
2. Contexte énergétique .....	21
3. État actuel du chauffage des serres.....	24
3.1 Caractéristiques des serres.....	25
3.2 Coûts de construction .....	35
3.3 Système de chauffe.....	35
4. Utilisation des rejets thermiques dans la production en serre .....	37
4.1 Situation actuelle .....	37
4.2 Entente entre générateur de rejets thermiques et producteur en serre.....	41
ÉTAPES D'UNE DÉMARCHE D'IMPLANTATION D'UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE À L'AIDE DE REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS.....	42
A. Préalable.....	44
A.01 S'informer.....	44
A.02 Valider la disponibilité des types de rejets thermiques.....	44
A.03 Estimer les ressources humaines, financières et matérielles de l'entreprise qui seront disponibles .....	45
A.04 Identifier et engager les ressources externes qui soutiendront votre démarche .....	46
A.05 Évaluer les impacts possibles d'un tel projet dans l'entreprise et à tous les niveaux .....	46
A.06 Identifier les programmes d'aide existants, leurs préalables et les règles d'application .....	46
A.07 Identifier les principales exigences techniques du projet.....	47
A.08 Identifier les facteurs économiques de la pertinence d'un tel projet dans l'entreprise .....	47
A.09 Déterminer un échéancier de projet .....	48
B. Étude de faisabilité .....	49
B.01 Déterminer les besoins de chauffe (pointe et profil).....	49
B.02 Déterminer les opportunités d'économies d'énergie.....	63
B.03 Caractériser le rejet thermique disponible .....	100
B.04 Identifier adéquatement les systèmes d'échangeur de chaleur pouvant utiliser le rejet thermique choisi tout en tenant compte des systèmes qui sont utilisés dans les serres.....	101

B.05 Déterminer le dimensionnement du système d'échange de chaleur en fonction de différents scénarios.....	106
B.06 Déterminer l'espace requis pour l'équipement et des bâtiments à construire .....	106
B.07 Déterminer un système de sécurité/appoint adéquat .....	106
B.08 Évaluer la comptabilité du système d'échange de chaleur choisi en fonction du plan de distribution de chaleur et du contrôle climatique.....	107
B.09 Identifier les autorisations nécessaires pour réaliser ce type de projet.....	107
B.10 Évaluer les contraintes sur le plan des ressources humaines .....	107
B.11 Évaluer exhaustivement les coûts pour réaliser le projet et faire fonctionner le système.....	107
B.12 Rechercher les sources de financement et déterminer la capacité d'investissement .....	108
C. Implantation .....	109
C.01 Établir les ententes d'approvisionnement en rejets thermiques .....	109
C.02 Établir les mesures d'efficacité énergétique .....	109
C.03 Élaborer le cahier des charges, effectuer les appels d'offres et analyser les soumissions .....	109
C.04 Choisir la soumission répondant le mieux à l'appel d'offres .....	110
C.05 Acquérir les permis et autorisations nécessaires .....	110
C.06 Établir le budget et obtenir le financement .....	110
C.07 Établir les ententes entre les diverses parties (fabricants, fournisseurs, installateurs) .....	110
C.08 Développer un plan de mesurage/surveillance pour une évaluation de l'efficacité énergétique .....	110
C.09 Installer et construire le système d'exploitation des rejets thermiques (suivi des travaux).....	110
C.10 Développer un programme de maintenance .....	110
C.11 Assurer une formation adéquate du personnel impliqué dans les opérations et la maintenance du système .....	111
D. Opération et maintenance .....	112
D.01 Suivre en continu la performance du système.....	112
D.02 Maîtriser les opérations du système et de ses diverses composantes selon les principaux modes de fonctionnement .....	112
D.03 Effectuer la maintenance en fonction des observations et des obligations.....	112
D.04 Identifier les anomalies et contacter les responsables internes et externes afin de les résoudre.....	112

D.05 Ajuster les opérations et les systèmes en fonction des observations et des obligations.....	112
RECOMMANDATIONS.....	113
CONCLUSION.....	115
ANNEXE A : Profil énergétique de l'industrie serricole québécoise (2010) .....	117
ANNEXE B : Températures d'exception à 1 %.....	125
ANNEXE C : Lexique – Termes utilisés dans le domaine de la gestion énergétique.....	126
ANNEXE D : Fiche de référence pour la réalisation des mandats.....	128
ANNEXE E : Liste des propriétés thermo physique d'intérêt .....	130
ANNEXE F : Classification des échangeurs de chaleur selon diverses particularités (Shah, 1981) .....	131
ANNEXE G : Description des équipements consommateurs d'énergie .....	132
G. Évolution des consommations d'énergie des entreprises serricoles au Québec.....	133
G.1 : Descriptions des systèmes de génération de chaleur .....	136
G.2 : Description des systèmes de distribution de chaleur.....	167
G.3 : Autres éléments .....	202
ANNEXE H : Lexique anglais-français associé aux échangeurs de chaleur .....	208
Bibliographie .....	210



## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition de la production serricole québécoise selon la superficie et le type de production en 2010 .....	18
Tableau 2 : Répartition des superficies des entreprises serricoles maraîchères selon la production, en hectares .....	19
Tableau 3 : Répartition des entreprises serricoles maraîchères en % par classe de superficie.....	19
Tableau 4 : Évolution de la production serricole maraichère au Québec en terme de superficie de 2008 à 2012 .....	19
Tableau 5 : Type de ventilation naturelle dans les serres ouvertes .....	26
Tableau 6 : Principaux systèmes de déshumidification, de refroidissement et de ventilation mécanique.....	27
Tableau 7 : Principaux matériaux de recouvrement utilisés au Québec selon la section de la serre .....	33
Tableau 8 : Sommaire des principales caractéristiques technico-économique des quatre complexes de serres utilisant, ou ayant utilisé des rejets thermiques.....	39
Tableau 9 : Facteur de correction associé au vent .....	54
Tableau 10 : Température extérieure à 1 % d'exception (Montréal).....	60
Tableau 11 : Facteurs ayant une influence sur la consommation d'énergie ou encore la puissance de chauffe à installer .....	61
Tableau 12 : Tableau résumant les tâches à accomplir pour les niveaux 1, 2 et 3 (anglais : level 1, 2, 3) .....	80
Tableau 13 : Éléments à tenir compte lors de la recherche d'un auditeur selon ASHREA : Procedures for Commercial Building Energy Audits – Second Edition.....	81
Tableau 14 : Étude de cas : scénarios analysés .....	85
Tableau 15 : Techniques et méthodologies utilisées au Québec pour diminuer les consommations d'énergie dans les serres commerciales .....	89
Tableau 16 : Catégorisation des rejets thermiques selon leur température.....	101
Tableau 17 : Choix du type de technologie.....	105

### **Liste des figures**

Figure 1 : Exemples de profil de serres individuelles .....	30
Figure 2 : Processus de réalisation d'un projet d'implantation des rejets thermiques.....	43
Figure 3 : Gains et pertes d'énergie dans une serre.....	52
Figure 4 : Représentation conceptuelle de la performance énergétique .....	67
Figure 5 : Modèle de système de management de l'énergie (SMÉ) selon la présente Norme internationale .....	68
Figure 6 : Diagramme conceptuel du processus de planification énergétique .....	72
Figure 7 : Définition du terme « analyse énergétique » .....	75
Figure 8 : Aspects à tenir compte lors de la conception ou encore sélection d'un échangeur de chaleur (modifié par Shah, 1982; Taborek, 1988; et and Kays and London, 1998.).....	102
Figure 9 : Design d'échangeur à plaque avec flexibilité d'expansion par l'ajout ou le retrait de plaque .....	103
Figure 10 : Collection d'échangeurs de chaleurs à plaques.....	103
Figure 11 : Échangeur de chaleur à plaque en configuration spirale .....	104
Figure 12 : Composante d'un échangeur à calandre et tube (vue en coupe).....	104
Figure 13 : Aspects à connaître et à maîtriser pour réaliser un projet lié à l'utilisation des rejets thermiques.....	114

### **Listes des graphiques**

Graphique 1 : Évolution annuelle du prix de l'électricité au Québec versus en France en dollars constants.....	21
Graphique 2 : Évolution annuelle du prix du gaz naturel au Québec versus en France en dollars constants.....	22
Graphique 3 : Évolution du prix de vente moyen du gaz naturel entre 1984 et 2010 (\$ courants) .....	23
Graphique 4 : Évolution du prix de vente moyen de l'électricité entre 1984 et 2010 (\$ courants) .....	23
Graphique 5 : Demande de puissance nette de chauffe pour 1 000 m <sup>2</sup> de plancher de serre sur une base annuelle basée sur la moyenne mensuelle quotidienne minimum .....	57
Graphique 6 : Demande de puissance nette de chauffe pour 1 000 m <sup>2</sup> de plancher de serre sur une base horaire basée sur les températures moyennes horaires 30 ans .....	58
Graphique 7 : Puissance nette de chauffe à installer pour 1 000 m <sup>2</sup> de plancher de serre pour diverses périodes de démarrage.....	60

### **Liste des photos**

Photo 1 : HAF .....	29
Photo 2 : Exemples de serres jumelées .....	31

**Liste des tableaux : Annexe A**

Tableau A. 1 : Maraîcher - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010).....	117
Tableau A. 2 : Ornemental - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010).....	117
Tableau A. 3 : Total - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010) .....	118
Tableau A. 4 : Maraîcher - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010) .....	119
Tableau A. 5 : Maraîcher - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010) .....	119
Tableau A. 6 : Ornemental - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010) .....	120
Tableau A. 7 : Ornemental - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010) .....	120
Tableau A. 8 : Total - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010) .....	121
Tableau A. 9 : Total - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010) .....	121
Tableau A. 10 : Maraîcher - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010).....	122
Tableau A. 11 : Ornemental - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010) .....	122
Tableau A. 12 : Total - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010) .....	123
Tableau A. 13 : Différence de la consommation moyenne d'énergie par entreprise entre les serres maraîchères et les serres ornementales selon la source d'énergie et la catégorie d'entreprise (2010) .....	124

**Liste des tableaux : Annexe G**

Tableau G. 1 : Dépenses et consommations énergétiques des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011 .....	134
Tableau G. 2 : Caractéristiques des différentes formes de bois .....	145
Tableau G. 3 : Quantité de vapeur d'eau contenue par kilogramme d'air sec pour différentes températures du bulbe sec et une humidité relative fixe à 70 % .....	192
Tableau G. 4 : DPV et zone de confort pour la plupart des plantes .....	195
Tableau G. 5 : Taux de chaleur d'origine latente de la combustion d'une unité d'un combustible donné.....	204

**Liste des figures : Annexe G**

Figure G. 1 : Fournaise à air chaud .....	137
Figure G. 2 : Fournaise à air chaud à condensation .....	138
Figure G. 3 : Chaudière (système décentralisé) .....	138
Figure G. 4 : Chaudière (système centralisé) .....	139
Figure G. 5 : Schéma typique d'une chaudière au gaz naturel .....	140
Figure G. 6 : Fournaise au mazout léger (exemple n° 1) .....	142
Figure G. 7 : Fournaise au mazout léger (exemple n° 2) .....	142
Figure G. 8 : Chaudière au mazout léger (système décentralisé) .....	143
Figure G. 9 : Schéma typique d'une installation d'une chaudière au mazout (système décentralisé).....	143
Figure G. 10 : Chaudière au mazout léger (système centralisé) .....	144
Figure G. 11 : Exemple d'une chaudière à biomasse (vue interne).....	146
Figure G. 12 : Vue d'ensemble typique d'un système de chauffage à la biomasse pour une entreprise sericole .....	151
Figure G. 13 : Vue d'ensemble typique d'un système de chauffage à la biomasse à eau chaude ou à la vapeur d'eau .....	152
Figure G. 14 : Fournaise biénergie .....	157
Figure G. 15 : Représentation d'une serre sans échanges de chaleur avec l'extérieur.....	167
Figure G. 16 : Représentation d'une serre lors de pertes de chaleur avec l'extérieur.....	168
Figure G. 17 : Représentation d'une serre lors de gains de chaleur avec l'extérieur .....	168
Figure G. 18 : Classification des échangeurs de chaleur (Shah, 1981) .....	171
Figure G. 19 : Aspects à tenir compte lors de la conception ou encore sélection d'un échangeur de chaleur (modifié par Shah, 1982; Taborek, 1988; et and Kays and London, 1998).....	172
Figure G. 20 : Ventilateur radial (centrifuge) d'une fournaise à air chaud .....	174
Figure G. 21 : Répartition des trous pour la chaleur .....	177
Figure G. 22 : Strates de température souhaitées dans un réservoir d'hydro-accumulation .....	184
Figure G. 23 : Exemple simplifié d'un réseau hydronique avec réservoir d'hydro-accumulation .....	185
Figure G. 24 : Échanges gazeux au niveau d'une feuille .....	191
Figure G. 25 : Concept d'un appareil de chauffage à condensation (mazout léger ou gaz naturel) .....	203

**Liste des graphiques : Annexe G**

Graphique G. 1 : Taux de consommation de diverses sources d'énergie utilisées pour la chauffe dans le secteur serricole québécois en 2010 .....	133
Graphique G. 2 : Évolution et tendance de la consommation de gaz naturel et de mazout léger des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011 .....	135
Graphique G. 3 : Courbe de rendement énergétique (rendement global) selon l'appel de puissance (charge) .....	149
Graphique G. 4 : Zones de confort pour l'être humain et différents types de plantes .....	191
Graphique G. 5 : Charte psychrométrique.....	194

### **Liste des photos : Annexe G**

Photo G. 1 : Serres Lefort - Chaudière à biomasse (1 x 6 000 kW thermiques chacune) .....	147
Photo G. 2 : Serres Lefort - entrepôt de biomasse et système d'alimentation .....	147
Photo G. 3 : Serres Lefort - chaufferie et réservoir d'hydro-accumulation .....	148
Photo G. 4 : Exemple d'un système de géothermie avec système de distribution de chaleur à air chaud .....	158
Photo G. 5 : Serres Savoura à Saint-Étienne-des-Grés .....	161
Photo G. 6 : Vue du centre d'enfouissement et des serres « Productions Horticoles Demers » à Saint-Nicéphore de Drummondville .....	162
Photo G. 7 : Générateur de CO <sub>2</sub> - Brûleur spécialement conçu à cet effet .....	164
Photo G. 8 : Générateur de CO <sub>2</sub> - Brûleur avec condensateur provenant du système de génération de chaleur .....	165
Photo G. 9 : Fournaise à air chaud sans conduits ou tubes pour diriger l'air chaud de façon précise .....	173
Photo G. 10 : Tubes de chauffage perforés .....	175
Photo G. 11 : Tubes de chauffage (polyéthylène) et conduit en acier galvanisé raccordé à une fournaise au gaz naturel à condensation .....	176
Photo G. 12 : Boucles de chauffe utilisées dans une serre .....	179
Photo G. 13 : Chariot élévateur utilisé dans les serres (production ornementale) .....	180
Photo G. 14 : Utilisation de tuyaux à ailettes dans une serre .....	181
Photo G. 15 : Utilisation de tuyaux lisses dans une serre .....	182
Photo G. 16 : Réservoir d'hydro-accumulation du projet de chauffe à biomasse des Serres Lefort .....	186
Photo G. 17 : Dégât possible sur le mur de pourtour d'une serre n'ayant pas de système de drainage (action gel-dégel) .....	189
Photo G. 18 : Stomate sur une feuille d'un plant de tomate .....	190
Photo G. 19 : Exemple n° 1 d'un tapis chauffant (eau chaude) .....	197
Photo G. 20 : Exemple n° 2 d'un tapis chauffant (eau chaude) .....	198
Photo G. 21 : Exemple d'un tapis chauffant (eau chaude) avec irrigation capillaire .....	199
Photo G. 22 : Exemple de panneaux chauffants en fibrociment (serpentin électrique) .....	199
Photo G. 23 : Tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée : production maraîchère .....	200
Photo G. 24 : Tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée : production ornementale .....	201

## ÉTAT DE LA SITUATION

### 1. Contexte de la production en serre au Québec

La culture en serre est un secteur d'activité très jeune au Québec. Née vers le début des années 60, elle a pris un essor important au début des années 70 avec l'arrivée des films de polyéthylène, plus économiques et mieux adaptés aux conditions climatiques hivernales québécoises. La crise de l'énergie de la seconde moitié des années 70 a ralenti le développement du secteur, avant que l'introduction de tarifs préférentiels d'électricité et un appui gouvernemental ne permettent à l'industrie de se développer à la fin des années 80.

Les serres sont surtout localisées dans la partie méridionale de la province, le long et au sud de la vallée du Saint-Laurent, à cause du climat plus favorable, de la disponibilité du gaz naturel et de la proximité des marchés. Les serres sont de mieux en mieux équipées, mais il existe encore de nombreuses serres basses<sup>1</sup>, individuelles, non informatisées, sans éclairage artificiel et sans enrichissement carboné. Les serres sont le plus souvent recouvertes d'un double film de polyéthylène. La culture hydroponique est répandue, ainsi que l'emploi des méthodes de lutte biologique.

Le **Tableau 1** présente le portrait de l'industrie serricole québécoise en 2010. En 2010, la production maraîchère présentait près de 87,9 hectares et 174,3 hectares dans la production ornementale, pour une somme totale de 262,2 hectares.

Le **Tableau 2** et le **Tableau 3** présentent le portrait en 2011 des entreprises opérant principalement dans le maraîcher. Le **Tableau 4** présente la superficie cultivée des principaux produits serricoles dans les serres maraîchères au Québec entre 2008 et 2012. On observe que les entreprises serricoles maraîchères produisent surtout la tomate, le concombre et la laitue. Cependant, la production de poivrons est en hausse. En effet, le poivron de serre qui était presque inexistant avant 2012 est maintenant produit par certaines grandes entreprises maraîchères.

Les entreprises maraîchères qui produisent la tomate, le concombre et le poivron sont des cultures dites chaudes qui demandant une plus grande intensité énergétique au niveau de la chauffe que les autres types de production dites froides (légumes feuilles : laitues et fines herbes, pépinières, ornementales).

---

<sup>1</sup> Des serres basses (hauteur à la gouttière inférieure à 12') a généralement un taux de transmission de lumière naturelle dans la serre plus bas que dans une serre ayant une hauteur plus élevée. De plus, des serres basses permettent difficilement l'installation d'écrans thermiques. Un écran thermique est une toile qui est déployée à l'intérieur de la serre à la hauteur des gouttières principalement la nuit pour conserver la chaleur de la serre. L'écran thermique est un des outils qui offrent un potentiel d'économie d'énergie le plus élevé.

Tableau 1 : Répartition de la production serricole québécoise selon la superficie et le type de production en 2010<sup>2</sup>

	Ornemental				Maraîcher				Total			
	Nombre	Superficie			Nombre	Superficie			Nombre	Superficie		
Catégorie d'entreprise		moyenne	totale			moyenne	totale			moyenne	totale	
selon la superficie en m <sup>2</sup>		m <sup>2</sup>	hectare	%		m <sup>2</sup>	hectare	%		m <sup>2</sup>	hectare	%
<b>500 à 999</b>	107	670	7,2	4,1	55	699	3,8	4,4	162	680	11,0	4,2
<b>1 000 à 1 999</b>	148	1 429	21,1	12,1	81	1 642	13,3	15,1	229	1 504	34,5	13,1
<b>2 000 à 4 999</b>	143	3 285	47,0	27,0	69	3 170	21,9	24,9	212	3 248	68,8	26,3
<b>5 000 à 9 999</b>	50	7 100	35,5	20,4	12	7 413	8,9	10,1	62	7 160	44,4	16,9
<b>10 000 et +</b>	36	17 636	63,5	36,4	9	44 444	40,0	45,5	45	22 998	103,5	39,5
<b>Total</b>	<b>484</b>	<b>3 601</b>	<b>174,3</b>	<b>100,0</b>	<b>226</b>	<b>3 890</b>	<b>87,9</b>	<b>100,0</b>	<b>710</b>	<b>3 693</b>	<b>262,2</b>	<b>100,0</b>
Statistique Cananada catégorie	400	3 360	134,4	<sup>A</sup>	205	3 816	78,2	<sup>B</sup>	605	3 514	212,6	
Ajustement pour mixtes et autres productions	84	4 749	39,9		21	4 616	9,7		105	4 723	49,6	
<b>Total</b>	<b>484</b>	<b>3 601</b>	<b>174,3</b>		<b>226</b>	<b>3 898</b>	<b>87,9</b>		<b>710</b>	<b>3 695</b>	<b>262,2</b>	<sup>C</sup>

<sup>A</sup> Statistique Canada 2010 no 22-202-X, Tableau 5 (ornemental).

<sup>B</sup> Statistique Canada 2010 no 22-202-X, Tableau 2 (maraîcher).

<sup>C</sup> Statistique Canada 2010 no 22-202-X, Tableau 1 (total).

Note : 1 hectare = 10 000 m<sup>2</sup> = 107 639,1 pi<sup>2</sup> ≈ 2,47 acres

<sup>2</sup> Source : CIDES inc.; Données réconciliées et basées à partir des données de Statistique Canada (2010).

Tableau 2 : Répartition des superficies des entreprises serricoles maraîchères selon la production, en hectares<sup>3</sup>

	Superficies (ha)	%
<b>Tomates</b>	32,1	53
<b>Concombres</b>	7,7	12
<b>Laitues</b>	12,4	21
<b>Poivrons</b>	0,3	0,6
<b>Fines herbes</b>	1,7	3
<b>Transplants</b>	0,5	0,9
<b>Autres légumes</b>	0,8	1,4
<b>Horticulture ornementale</b>	5,3	9
<b>Total</b>	60,1	100

Tableau 3 : Répartition des entreprises serricoles maraîchères en % par classe de superficie<sup>4</sup>

	Nombre	% du nombre	% de la superficie	Superficie moyenne (ha/entreprise)
<b>500 à 100 m<sup>2</sup></b>	35	27	3	0.054
<b>1000 à 1999 m<sup>2</sup></b>	51	39	13	0.143
<b>2000 à 4999 m<sup>2</sup></b>	31	24	15	0.271
<b>5000 à 9999 m<sup>2</sup></b>	6	5	7	0.607
<b>10 000 m<sup>2</sup> et plus</b>	7	5	62	4.832
<b>Total</b>	130	100	100	

Tableau 4 : Évolution de la production serricole maraîchère au Québec en terme de superficie de 2008 à 2012<sup>5</sup>

Année	2008	2009	2010	2011	2012
	ha	ha	ha	ha	ha
<b>Tomates</b>	54,3	51,5	54,6	57,6	57,5
<b>Concombres</b>	10,4	9,5	9,4	7,4	9,7
<b>Laitues</b>	11,4	16,2	n.d.	n.d.	12,7
<b>Poivrons</b>	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1,5
<b>Total</b>	76,1	77,1	64,1	65,1	81,4

Selon le CLD Beauharnois-Salaberry et André Gosselin, agr. (2004), le manque d'organisation, la petite taille et la dispersion des entreprises (...) ainsi que les conditions climatiques plus froides du Québec expliquent le développement plus lent de la serriculture au Québec. Le potentiel de développement est

<sup>3</sup> Groupe AGECO (2011) – « Portrait québécois et diagnostic de la production de légumes de serre et opportunités de développement » Pour le SPSQ – Rapport final – Juin 2011

<sup>4</sup> Groupe AGECO (2011) – « Portrait québécois et diagnostic de la production de légumes de serre et opportunités de développement » Pour le SPSQ – Rapport final – Juin 2011

<sup>5</sup> Statistique Canada, CANSIM 001-0006 : Production et valeur des légumes de serre annuel

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

toutefois élevé compte tenu de la demande intérieure et de la proximité des immenses marchés du nord-est des États-Unis.<sup>6</sup>

Contrairement à ce qu'on observe en Ontario et en Colombie-Britannique ou dans les pays ouest-européens, il n'existe pas au Québec de zones géographiques restreintes avec une densité importante de complexes de serres. Par ailleurs, au Québec, les complexes de serres sont de petites dimensions et la propriété de PME dont c'est là l'activité unique.

Concernant l'évolution de l'industrie serricole québécoise, les statistiques des dernières années tant à démontrer qu'il y a une augmentation de la superficie totale des serres, mais une diminution du nombre d'entreprises serricoles. Ce déclin est dû au niveau des petites entreprises serricoles. L'augmentation de la superficie totale des serres provient surtout des investissements réalisés par les grandes entreprises serricoles.

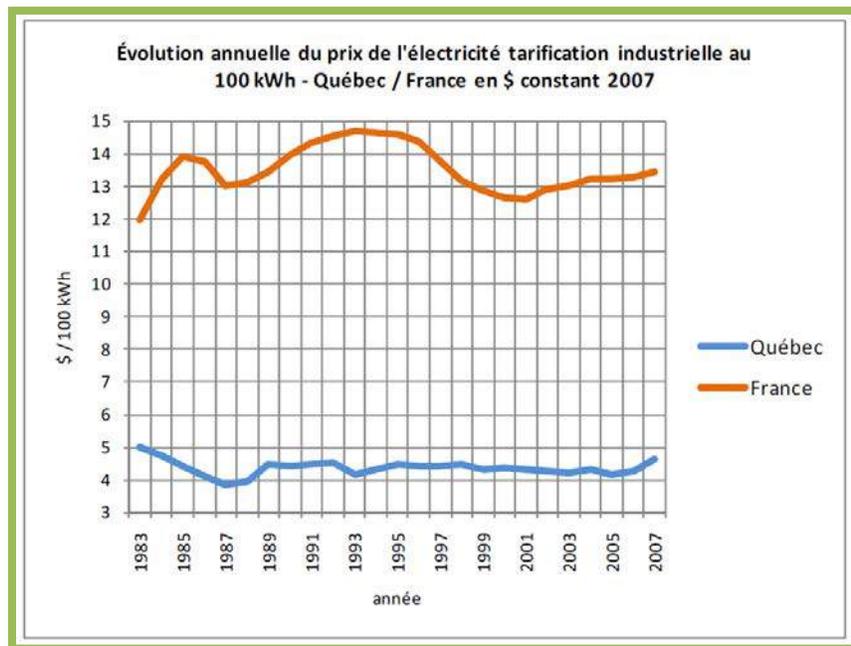
---

<sup>6</sup> CLD Beauharnois-Salaberry (2004) avec la participation d'André Gosselin, Ph.D., Agr. (Université Laval) – « Valorisation des rejets thermiques et du CO<sub>2</sub> de la centrale du Suroît d'Hydro-Québec » - Mémoire déposé auprès de la Régie de l'Énergie

## 2. Contexte énergétique

Il est couramment admis que l'énergie est bien meilleur marché en Amérique du Nord (en général et au Québec en particulier) qu'en Europe de l'Ouest, et ce depuis fort longtemps. Cependant, si nous analysons plus en détail l'évolution sur la période 1983-2007 des prix (tarifs industriels) de l'électricité, et du gaz naturel au Québec et en France<sup>7</sup>, cette affirmation devient beaucoup plus nuancée, au moins pour le Québec, tel que le démontrent le [Graphique 1](#) et le [Graphique 2](#). Si l'électricité est effectivement bien meilleur marché au Québec qu'en France, cela est moins flagrant pour le gaz naturel jusqu'en 2007.

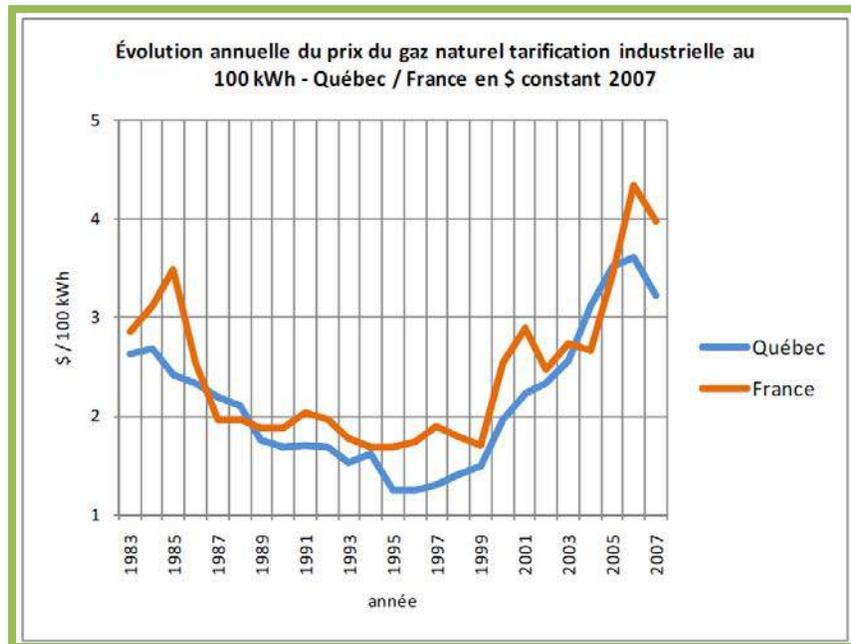
Graphique 1 : Évolution annuelle du prix de l'électricité au Québec versus en France en dollars constants<sup>8</sup>



<sup>7</sup> Représentative des coûts énergétiques moyens dans les pays ouest-européens.

<sup>8</sup> MAMROT (2010) « Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec » Étude réalisée par Innovagro Consultants

Graphique 2 : Évolution annuelle du prix du gaz naturel au Québec versus en France en dollars constants<sup>9</sup>

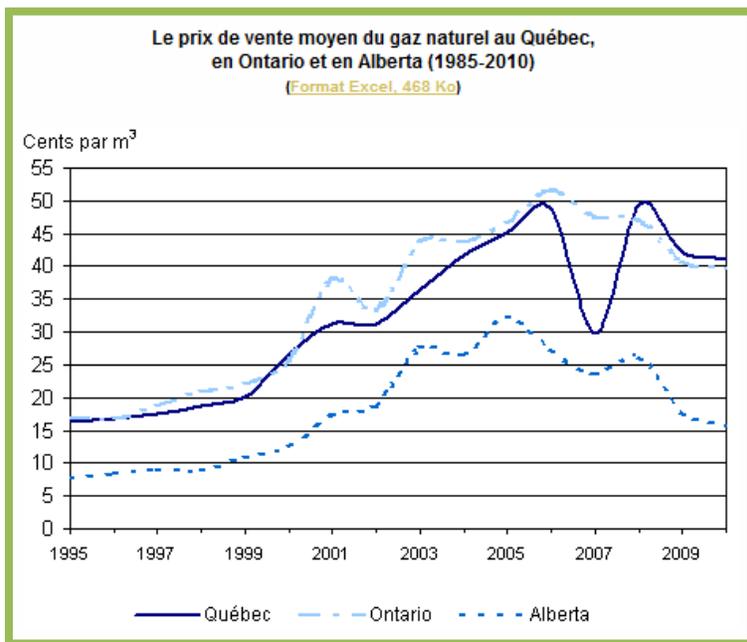


On notera par ailleurs que si au Québec, le prix moyen du gaz naturel (secteurs résidentiel, commercial et industriel) fut plus élevé qu'en Ontario et en Colombie-Britannique jusqu'en 1994, cette situation s'est inversée à partir de cette année-là jusqu'en 2007 (voir le [Graphique 3](#)). À partir de 2008, le gaz naturel est devenu meilleur marché en Colombie-Britannique qu'au Québec, mais il est resté à un prix plus élevé en Ontario. À partir de 2009, le prix du gaz naturel en Colombie-Britannique a dépassé celui en vigueur au Québec, mais celui pratiqué en Ontario est passé en dessous.

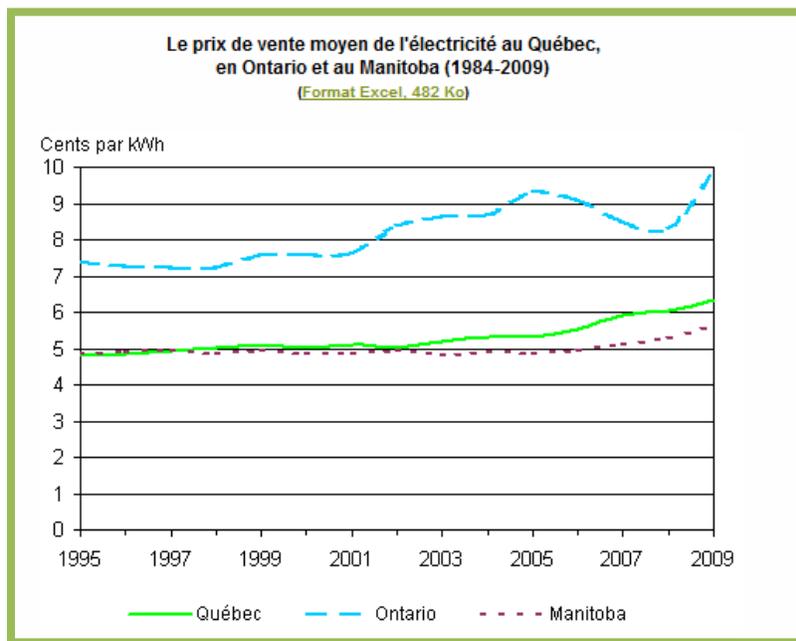
En ce qui concerne le prix moyen de l'électricité (secteurs résidentiel, commercial et industriel), le tarif québécois a été le plus bas jusqu'en 1999. À partir de 2000, les tarifs pratiqués au Québec et en Colombie-Britannique ont été comparables à quelques variations annuelles près. Sur la période 1984-2009, le tarif ontarien est resté constamment très supérieur à ceux en vigueur au Québec et en Colombie-Britannique (voir le [Graphique 4](#)).

<sup>9</sup> MAMROT (2010) « Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec » Étude réalisée par Innovagro Consultants

Graphique 3 : Évolution du prix de vente moyen du gaz naturel entre 1984 et 2010 (\$ courants)<sup>10</sup>



Graphique 4 : Évolution du prix de vente moyen de l'électricité entre 1984 et 2010 (\$ courants)<sup>11</sup>



<sup>10</sup> <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-prix-gaz.jsp>

<sup>11</sup> <http://www.mrn.gouv.qc.ca/energie/statistiques/statistiques-energie-prix-electricite.jsp>

### 3. État actuel du chauffage des serres

Dans la production maraîchère et ornementale, les agriculteurs utilisent principalement deux types d'abri : le tunnel ou encore la serre. Il est important de différencier ces deux types d'abri :

- Tunnel : abri utilisant la lumière naturelle pour la croissance des plantes et qui, grâce à un contrôle minimal des conditions d'environnement interne, permet d'allonger les saisons de culture.
- Serre : abri utilisant principalement la lumière naturelle pour la croissance des plantes et qui, grâce au contrôle optimal des conditions d'environnement interne, permet de produire des cultures à contre-saison.

Il est à noter que le rapport ne traitera pas des tunnels et que les informations présentées seront seulement en fonction d'entreprises serricoles en production commerciale.

Pour les entreprises serricoles, les dépenses énergétiques représentent environ 20 % à 30 % des frais d'exploitation d'une serre. Au niveau énergétique, la chauffe occupe 80 % des dépenses énergétiques. L'électricité et les combustibles utilisés pour les véhicules comblent la différence.

Dans le cadre d'un projet où une nouvelle façon de procéder est envisagée pour chauffer une entreprise serricole au Québec, comme l'utilisation des rejets thermiques, il est important pour l'ensemble des participants (entreprise serricole et ses conseillers, les concepteurs et fabricants de systèmes de chauffe, les installateurs et les responsables des programmes d'aide financière) de connaître :

- les caractéristiques des systèmes de chauffe qui comprend le système de génération de chaleur, le système de distribution de chaleur, et le système de contrôle et de gestion du système de chauffe usuellement utilisés dans l'industrie serricole;
- les besoins de chauffe et d'énergie nécessaire pour opérer et chauffer adéquatement une entreprise serricole;
- les principaux facteurs qui peuvent influencer les caractéristiques du nouveau procédé de chauffe, les besoins de chauffe et les consommations d'énergie anticipées.

En prenant connaissance de ces points énumérés précédemment, l'entreprise serricole et les divers intervenants auront les mêmes connaissances de base, pour ainsi mieux communiquer entre eux, développer et réaliser de façon efficiente un projet telle l'utilisation des rejets thermiques tout en préservant la viabilité et la pérennité de l'entreprise serricole.

Comme mentionné au début de cette section, il existe deux principaux types de production en serre : maraîchère et horticulture ornementale. Les productions de tomates, concombres et poivrons demandent une intensité énergétique plus élevée que pour les laitues, fines herbes et autres. Au niveau de l'intensité énergétique, la production de salades, fines herbes et autres peut se comparer à production ornementale. En fonction du type de production, elle peut se faire au niveau du sol, sur gouttière, sur table ou encore dans des bassins d'eau hors-sol (production de salade).

### 3.1 Caractéristiques des serres

Il existe une multitude de produits et de façons de faire pour construire une serre. Les informations présentées dans cette section sont celles les plus utilisées au Québec. Dans les serres moins récentes, il peut y avoir d'autres méthodologies qui étaient d'actualité à l'époque, mais plus nécessairement aujourd'hui.

Les caractéristiques physiques de l'entreprise serricole et des serres sont liées :

- Au type d'entreprise
- Au type de production
- À la localisation de l'entreprise
- À l'aménagement de l'entreprise
- Aux systèmes utilisés pour la production
- À la période d'opération des serres
- Aux ressources humaines et financières de l'entreprise

#### 3.1.1 Concepts de serres

Il existe principalement trois concepts de serres : serre ouverte, serre semi-fermée et serre fermée. La principale différence entre les concepts provient de la méthodologie utilisée dans la serre pour contrôler d'une part l'excès de chaleur provenant des gains solaires et d'autre part l'humidité.

L'idée des concepts de serres semi-fermées et fermées est de minimiser la consommation d'énergie et maximiser la production par l'obtention d'un climat optimale (température, humidité, taux de CO<sub>2</sub>). Ces deux concepts ont été développés dans les premiers temps en Hollande. Le concept tel qu'il existe en Hollande serait difficilement transférable au Québec vu nos conditions climatiques (1). Présentement, il n'y a aucune étude à notre connaissance qui a été publiée pour démontrer la pertinence technico-économique de ces deux concepts en tenant compte du type de production et des conditions climatiques existant au Québec pour des serres commerciales. Vu la marginalité de ces deux derniers concepts de serres au Québec, les serres semi-fermées et fermées ne seront pas traitées dans ce rapport.

Le *concept de serre ouverte* est le plus répandu dans le monde et au Québec. Pour refroidir et déshumidifier les serres, celles-ci sont ventilées. La ventilation peut être naturelle ou mécanique. Une entreprise serricole peut utiliser les deux types de ventilation, mais pas simultanément pour une même serre. Le **Tableau 5 : Type de ventilation naturelle dans les serres ouvertes** présente les principaux types de ventilation naturelle utilisés dans les serres ouvertes alors que le **Tableau 6 : Principaux systèmes de déshumidification, de refroidissement et de ventilation mécanique** présente les principaux systèmes de déshumidification, de refroidissement et de ventilation mécanique dans les serres ouvertes.

Les différents types de système de ventilation naturelle sont utilisés au printemps, à l'été et à l'automne. Cependant, les ouvrants au toit peuvent être utilisés aussi en hiver, mais en limitant l'ouverture.

Tableau 5 : Type de ventilation naturelle dans les serres ouvertes<sup>12</sup>

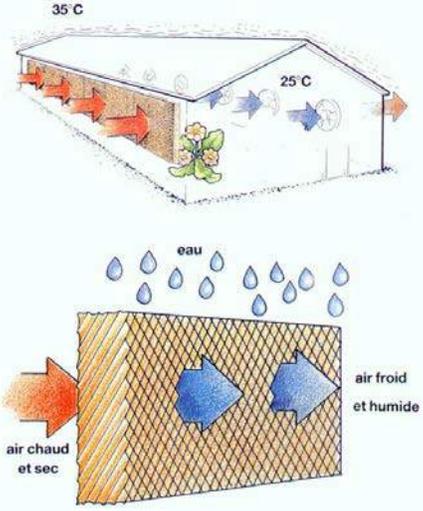
TYPE : VENTILATION NATURELLE	
<b>Ouvrant latéral : panneau</b>	
<b>Ouvrant latéral : enroulable (roll-up)</b>	
<b>Ouverture au toit ; à la gouttière</b>	
<b>Ouverture au toit : à la mi- faîte</b>	
<b>Ouverture au toit : au faîte (surtout dans les serres de verre)</b>	

<sup>12</sup> CIDES inc., Hol-Ser inc.

Tableau 6 : Principaux systèmes de déshumidification, de refroidissement et de ventilation mécanique<sup>13</sup>

SYSTÈMES DE VENTILATION MÉCANIQUE			
Type de ventilation mécanique		Période d'utilisation	Commentaires
<b>Fan-Jet</b>		Hiver	Entrée d'air froid qui se mélange avec l'air chaud de la serre. Avec ou sans petit ventilateur d'extraction.
<b>Ventilateur : Pression positive</b>		Hiver	Un ventilateur force l'entrée d'air froid à haute vitesse.
<b>Extracteur d'air</b>	 Sortie d'air	Printemps, été, automne	Selon le modèle choisi, le ventilateur de l'extracteur d'air peut avoir plusieurs vitesses. Ainsi, le débit d'air est limité lorsqu'il est utilisé au printemps et à l'automne.

<sup>13</sup> CIDES inc., ITA de St-Hyacinthe, Qingzhou Sanhe Fan Co.,Ltd, Université Laval

SYSTÈMES DE VENTILATION MÉCANIQUE		
Type de ventilation mécanique	Période d'utilisation	Commentaires
 <p>Entrée d'air</p>		
<p><b>Micro-Brumisation « FOG »</b></p> 	Été	<p>Ils refroidissent la serre par l'évaporation de l'eau. Ces systèmes sont utilisés dans le domaine ornemental, mais à petite échelle au Québec puisque les périodes chaudes sont moins fréquentes que d'en d'autres provinces ou états américains et qu'en période chaude au Québec, l'air est souvent très humide, ce qui réduit l'efficacité de ces systèmes. Ces systèmes demandent une bonne gestion de l'humidité (taux et uniformité). Ces systèmes ne sont pas utilisés au Québec dans la production maraîchère.</p> <p>En effet, l'évapotranspiration des plants va jouer ce rôle grâce à la masse foliaire qui est plus importante</p>
<p><b>Coussin d'évaporation « cooling pad »<sup>14</sup></b></p> 	Été	

SYSTÈMES DE VENTILATION MÉCANIQUE			Période d'utilisation	Commentaires
Type de ventilation mécanique				
<b>Pulvérisation d'eau au sol</b>			Été	que dans le domaine ornemental.

Autres que les systèmes de ventilation naturelle ou mécanique, les producteurs peuvent réduire l'apport de chaleur provenant du soleil en utilisant des ombrières à l'intérieur ou à l'extérieur de la serre ou en appliquant un liquide ombrageant directement sur la surface externe de la serre au niveau du toit et sur les murs qui font face au soleil.

Concernant les HAF (Horizontal Air Flow), ce sont des ventilateurs utilisés à l'intérieur des serres pour uniformiser le climat et non pour refroidir ou encore déshumidifier (voir la [Photo 1](#)).

Photo 1 : HAF<sup>15</sup>



Les *serres fermées* sont des serres qui ne sont pas ventilées. Quoique par mesure de sécurité, elles peuvent avoir des systèmes de ventilation naturelle ou encore mécanique. La chaleur excédentaire est

<sup>15</sup> CIDES

emmagasinée dans le sous-sol par un système d'échangeur de chaleur et la chaleur est récupérée en hiver ou encore au besoin.

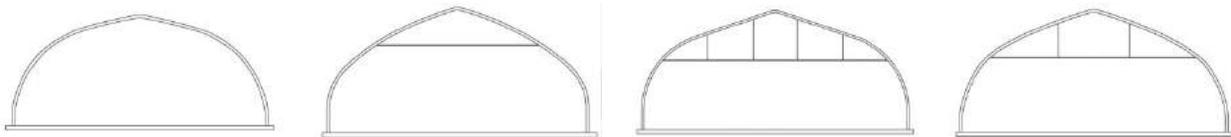
Le *concept de serre semi-fermée* repose sur le concept suivant : Pour refroidir la serre, la serre semi-fermée emmagasine une grande partie de la chaleur excédentaire comme pour une serre fermée. Cependant, un système de ventilation y est intégré. L'idée est de réduire les besoins de ventilation. Le système pour emmagasiner la chaleur est activé uniquement lorsque la chaleur provenant de l'énergie solaire atteint une limite prédéterminée.

### 3.1.2 Types de serres

Il y a deux types de serres qui sont utilisés au Québec. D'une part, il y a les serres individuelles, d'autre part les serres jumelées. Les deux types de serres peuvent servir pour différents types de production. La forme et les matériaux utilisés des serres sont très variables. Cet aspect est discuté dans une section subséquente.

La *serre individuelle* est souvent l'option choisie lorsque le besoin de superficie est inférieur à 750 m<sup>2</sup> et non utilisé en période hivernale. Les dimensions et le profil d'une serre individuelle sont très variables et en fonction des besoins de l'entreprise (voir la [Figure 1](#)).

Figure 1 : Exemples de profil de serres individuelles<sup>16</sup>



La largeur varie entre 6 et 15 m. La longueur est indéterminée, mais est généralement supérieure à 6 mètres. Cependant, il est suggéré de limiter la longueur à 60 m pour les systèmes de distribution de chaleur à air chaud. Cette limite facilite la conception et la chauffe de la serre, l'utilisation de « rolls-up », l'uniformité du climat, l'irrigation et la circulation à l'intérieur de la serre. Avec un système de distribution de chaleur à eau chaude bien conçu, la limite du 60 m ne s'applique plus, mais un tel système peut être discutable d'un point de vue technico-économique pour des serres individuelles ou encore des serres jumelées ayant moins de 900 m<sup>2</sup>.

La hauteur du sol au pignon de la serre varie entre 2,5 et 5,5 m, plus la serre étant large, plus elle sera haute. Le dégagement minimal, soit la hauteur entre le sol et l'armature horizontale de la serre supportant le toit est supérieure à 2,5 m.

Le coût d'une serre individuelle est plus abordable qu'une serre jumelée. Avec plusieurs serres individuelles, l'entreprise peut utiliser différents régimes climatiques en fonction de chaque type de culture qu'il désire entreprendre. Ainsi, cela procure une certaine flexibilité au niveau de la production.

---

<sup>16</sup> Les Industries Harnois

Le coût de chauffage est plus élevé par rapport à une serre jumelée avec écran thermique. Pour cette raison, il n'est pas recommandé d'utiliser les serres individuelles en période hivernale.

Au niveau de la luminosité (serre vide), il est difficile de dire si une serre individuelle est plus lumineuse qu'une serre jumelée. En effet, les nouvelles serres jumelées offrent maintenant des hauteurs très élevées au niveau des gouttières (> 4,75 m) et ainsi une luminosité accrue, ce qui n'était pas le cas il y a une dizaine d'années. Toutefois, d'autres facteurs doivent être tenus en compte concernant la luminosité d'une serre.

Dans une serre individuelle, l'aménagement intérieur est limité. Par exemple, l'installation d'écrans thermiques, de ventilateurs HAF, d'un système d'éclairage artificiel ou encore d'irrigation est parfois impossible ou limite leur fonctionnement et leur efficacité. Aussi, la supervision des employés se fait plus difficilement dans une multitude de serres individuelles que dans une serre jumelée.

Au niveau de la chauffe, il faut au moins deux fournaies par serre individuelle. Si une des fournaies tombe en panne, l'autre doit être en mesure de maintenir le climat de la serre de façon satisfaisante pour garantir la survie des plants jusqu'au moment que la fournaie défectueuse soit réparée.

Concernant la neige, même si la serre n'est pas chauffée, la neige va glisser sur les côtés. Cependant, si la neige sur les côtés exerce une trop forte pression sur les matériaux de recouvrement (exemple : films en polyéthylène), les matériaux risquent de se détériorer plus rapidement.

La *serre jumelée* est souvent l'option choisie lorsque le besoin de superficie est supérieur à 750 m<sup>2</sup> et pour une utilisation en période hivernale. Les dimensions et le profil d'une serre jumelée sont très variables (voir la [Photo 2](#)).

Photo 2 : Exemples de serres jumelées<sup>17</sup>



<sup>17</sup> CIDES inc., Hol-Ser inc., Les Industries Harnois inc.

Une serre jumelée est composée de chapelles. Les chapelles sont en fait des serres individuelles, mais conçues pour y être jumelées permettant ainsi une ouverture complète à l'intérieur de la serre jusqu'aux murs composant le pourtour de la serre.

La largeur d'une serre jumelée est variable, car il est en fonction du nombre de chapelles que l'entreprise serricole désire avoir. Cependant, la largeur des chapelles varie entre 4,25 et 11 m. La longueur est indéterminée, mais est généralement supérieure à 6 mètres. Cependant, il est suggéré de limiter la longueur à 60 m pour les systèmes de distribution de chaleur à air chaud. Cette limite facilite la conception et la chauffe de la serre, l'utilisation de « rolls-up », l'uniformité du climat, l'irrigation et la circulation à l'intérieur de la serre. Avec un système de distribution de chaleur à eau chaude bien conçu, la limite du 60 m ne s'applique plus.

La hauteur de la serre entre le sol et la gouttière varie entre 3,0 et 7,3 m. Cependant, les vieilles serres jumelées peuvent avoir une hauteur de 2,5 m. La hauteur entre la gouttière et le pignon du toit varie entre 1,5 et 2,5 m. Les entreprises serricoles vont aujourd'hui privilégier des hauteurs supérieures à la gouttière à 4,25 m pour maximiser la luminosité à l'intérieur de la serre et favoriser aussi l'installation d'écrans thermiques.

Le coût d'une serre jumelée est plus dispendieux qu'une serre individuelle. Cependant, elle offre plus de possibilités.

Il est toujours possible d'obtenir différents régimes climatiques à l'intérieur d'une serre jumelée, mais en séparant les zones d'un mur translucide. Pour rendre les différentes zones pleinement indépendantes, il faut aménager en conséquence (exemples : ouvrants au toit, écrans thermiques). Cet aménagement augmente les coûts et demande une analyse technico-économique en incluant les aspects agronomiques et ergonomiques.

Le coût de chauffage d'une serre jumelée est moins élevé que dans une serre individuelle. Toutefois, les serres nouvelles jumelées nouvelles doivent avoir des écrans thermiques horizontaux pour maintenir ce fait. Une section subséquente discutera des pertes de chaleur que subit une serre et de l'effet des écrans thermiques sur la consommation d'énergie. La serre jumelée est adéquate pour opérer à l'année.

Au niveau de la luminosité (serre vide), les serres jumelées sont plus lumineuses, qu'il était il y a une dizaine d'années, et elles peuvent même être plus lumineuses que les serres individuelles. En effet, les nouvelles serres offrent maintenant des hauteurs très élevées au niveau des gouttières (> 4,75 m). Toutefois, d'autres facteurs doivent être tenus en compte concernant la luminosité d'une serre.

L'aménagement d'une serre jumelée est de loin supérieur à une serre individuelle. Les serres jumelées permettent l'installation d'écrans thermiques (horizontaux et verticaux), de ventilateurs HAF, d'un système d'éclairage artificiel ou encore d'irrigation sans affecter leur fonctionnement et leur efficacité. La supervision des employés se fait aussi plus facilement que dans une multitude de serres individuelles.

Au niveau de la chauffe, une entreprise peut installer un système de chauffe décentralisé ou non. Dans le cas d'un système décentralisé, les entreprises vont installer généralement des fournaies à air chaud dans chacune des chapelles. Si une des fournaies tombe en panne, les autres peuvent prendre la relève et ainsi maintenir la température de la serre de façon satisfaisante d'ici sa réparation. Avec un système centralisé, les entreprises vont utiliser l'eau chaude comme fluide calorporteur. La distribution de la chaleur dans chacune des chapelles peut se faire directement avec l'eau chaude (réseau hydronique) ou par l'air chaud en utilisant un échangeur de chaleur eau-air.

Concernant la neige, si la serre jumelée n'est pas chauffée, il faut penser à éliminer la neige qui pourrait s'accumuler entre les gouttières ou lors de tempêtes de neige successives. En effet, la serre jumelée pourra s'écraser par le poids de la neige accumulée.

### 3.1.3 Matériaux utilisés dans les serres québécoises

Au niveau des *armatures* utilisées dans les serres de niveau commercial, elles sont composées principalement de tubes en acier galvanisé. Dans le passé, le bois était aussi utilisé. Cependant, une serre en bois n'offre pas un taux de pénétration et d'uniformité de la lumière solaire aussi élevé que dans une serre utilisant des armatures en acier galvanisé. La superficie de la lumière bloquée par des armatures en bois est plus élevée que ceux en acier galvanisé pour une même superficie plancher de serre.

Que ce soit pour une serre individuelle ou jumelée, les *matériaux de recouvrement ou d'isolation* utilisés sont les mêmes. Par définition, un matériau isolant :

- est non-translucide;
- permet de réduire les pertes de chaleur efficacement;
- protège la base des murs des bris provoqués par la neige.

Tandis que le matériau de recouvrement se définit tout simplement par la définition contraire donnée au matériau isolant.

Le **Tableau 7** présente les matériaux de recouvrement habituellement utilisés au Québec selon la section de la serre. Le choix d'un matériau de recouvrement par rapport à un autre est basé sur : son taux de transmission de lumière, sa durabilité, sa fragilité, son taux d'expansion et de contraction, sa conception et fabrication, ses autres caractéristiques intrinsèques et le coût. Par la suite, la structure de la serre et les attaches seront choisies en conséquence.

Tableau 7 : Principaux matériaux de recouvrement utilisés au Québec selon la section de la serre

Section de la serre	Matériau de recouvrement
<b>Toit</b>	Verre, films flexibles en polyéthylène (simple ou double)
<b>Mur</b>	Verre, films flexibles en polyéthylène (simple ou double), polycarbonate, acrylique

L'utilisation de film simple est utilisée normalement dans les serres individuelles et lorsqu'elles sont opérées vers la fin du printemps ou l'été seulement, alors que pour de plus longues périodes l'utilisation de film double est privilégié.

D'autres matériaux comme le PVC ondulé et la fibre de verre peuvent être utilisés, mais ils ne sont pas répandus ou encore adaptés à nos conditions climatiques et d'opération. Il existe aussi d'autres types de film flexibles pour des utilisations spécifiques (exemples : les films EVA, PVC, multicouches, UV, sélectifs, fluorescents).

Au niveau des matériaux isolants, les matériaux recommandés sont les panneaux de polystyrène extrudé de type III ou IV et le polyuréthane (giclé ou en panneau avec densité appropriée). Les matériaux isolants doivent être protégés des rayons du soleil, des produits chimiques (solvants), de l'eau et des chocs mécaniques.

Le *pourtour des serres* sert à fixer la structure de la serre et à éliminer les infiltrations d'air en faisant la jonction avec les matériaux de recouvrement ou encore les matériaux isolants qui composent les murs des serres et le sol.

Les entreprises serricoles peuvent fixer la structure de la serre en construisant un muret en ciment sur tout le pourtour de la serre ou en implantant des tubes en ciment à des endroits spécifiques. Dans les deux cas, la structure de la serre est fixée avec un système d'ancrage approprié. Ce pourtour est généralement isolé. D'ailleurs, au Québec, il est suggéré d'isoler le pourtour de la serre sur 61 cm ( $\approx 24''$ ) sous le niveau du sol.

Le *plancher d'une serre* peut être en ciment ou le sol d'origine superposé de couches de sable et de gravier. Pour ce dernier, la plupart des entreprises vont déposer sur le dessus du sol, une toile de type géotextile perméable ou encore un film flexible en polyéthylène (surface blanche sur le côté face au soleil). La fréquence de remplacement de cette toile ou encore de ce film est en fonction de son usure ou encore de la politique de l'entreprise au niveau de la gestion des risques de maladies. Si l'entreprise utilise des planchers chauffants, ceux-ci doivent être isolés adéquatement pour réduire le transfert de chaleur vers le sol.

Ce sont les caractéristiques du sol et du terrain qui va dicter la conception du *système de drainage*. La plupart des entreprises serricoles utilisent un système de drainage. Le système de drainage doit être installé sur le pourtour et sous la serre. Quoique beaucoup d'entreprises serricoles vont installer le système de drainage seulement sur le pourtour des serres. Il est recommandé de surélever d'au moins de 30 cm le niveau du sol de la serre pour faciliter le drainage et empêcher les eaux de surface d'entrer dans la serre lors de la fonte des neiges ou encore lors d'une forte pluie.

### 3.2 Coûts de construction

Le « Centre de Référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) » a publié en juin 2011 un document présentant les coûts de construction de serre. Ce document est disponible sur le site Internet du CRAAQ<sup>18</sup>. Le coût d'une serre est très variable. En effet, les paramètres suivants vont influencer le coût d'une serre (liste non exhaustive) : localisation de la serre, type de serres (individuelle, jumelée), matériaux de recouvrement, matériaux isolants, excavation, fondation, ferronnerie, électricité, plomberie, aménagement, système de génération de chaleur, système de distribution de chaleur, systèmes de ventilation/refroidissement/déshumidification, système d'éclairage artificiel, système de contrôle, écrans thermiques, systèmes d'irrigation et de fertilisation, et autres systèmes en lien avec le type de production et la période d'opération de la serre.

À titre d'exemple, le coût d'une serre individuelle avec une structure de base, un système de chauffe à air chaud et un système de ventilation naturelle est d'environ 105 \$/m<sup>2</sup>; alors que pour une serre jumelée, il est d'environ 135 \$/m<sup>2</sup> (référence : AGDEX 731/290 Juin 2011). Seule une analyse exhaustive peut déterminer le coût d'une nouvelle construction en fonction des besoins de l'entreprise serricole et du site.

### 3.3 Système de chauffe

Par définition, un système de chauffe comprend les composantes suivantes : un système de génération de chaleur (exemples : fournaise, bouilloire, thermopompe), un système de distribution de chaleur (exemples : réseau hydronique avec ou sans réservoir d'hydro-accumulation, conduits d'air chaud, table chauffante) et un système de contrôle et de gestion (exemples : automates, ordinateur).

Cette section présente globalement le rôle d'un système de chauffe et les principaux concepts utilisés pour y répondre. Aussi, le profil énergétique des systèmes de chauffe utilisés pour générer la chaleur dans l'industrie serricole québécoise sera présenté. Les types, les caractéristiques et les aspects techniques d'un système de chauffe seront présentés dans la section « Étapes d'une démarche d'implantation d'un système de chauffage à l'aide de rejets thermiques industriels ».

La serre est une infrastructure qui permet de produire des cultures à contre-saison. Ainsi, le système de chauffe est utilisé lorsque les températures sont en dessous des températures optimales pour produire une culture et pour déshumidifier la serre au besoin.

Un système de chauffe idéal serait de prélever et d'amener chaque unité de chaleur contenue dans un combustible ou une source d'énergie : au bon endroit sur le plant, à la bonne intensité et au bon moment pour maximiser la production tout en étant efficient pour permettre de préserver la viabilité et la pérennité de l'entreprise.

Lors de la sélection et la conception d'un système de chauffe, il faut tenir compte (liste non exhaustive) : des besoins agronomiques, des besoins de chauffe, des ressources disponibles de l'entreprise

<sup>18</sup> AGDEX 731/290 Juin 2011 – [www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

(exemples : humaine et financière), des préalables pour installer et opérer adéquatement le système de chauffe, de la disponibilité de la source d'énergie, des infrastructures et systèmes en place, et des aspects légaux. Ceci s'applique pour les serres individuelles et les serres jumelées.

Il existe une multitude de systèmes de chauffe qui sont utilisés dans les serres. Les entreprises qui opèrent lors des périodes froides vont utiliser des systèmes de secours ou d'autres sources d'énergie :

- Lorsque le système de chauffe principale est en panne ou encore en maintenance.
- Pour répondre à des besoins de chauffe en période de pointe.
- Pour générer du CO<sub>2</sub>.

Il y a plusieurs entreprises maraîchères qui vont utiliser le CO<sub>2</sub> pour augmenter la production (exemples : tomates, concombres, poivrons). Le CO<sub>2</sub> peut être généré par le gaz naturel ou le propane, ou encore acheté sous forme liquide livrée en bonbonne.

L'ensemble des tableaux de l'[ANNEXE A : Profil énergétique de l'industrie serricole québécoise](#) présentent un portrait des consommations d'énergie par catégorie d'entreprise serricole au Québec selon la superficie et les sources d'énergie utilisées pour la chauffe. Les données qui ont servi à réaliser ces tableaux ne tiennent pas compte des projets survenus après 2010. En effet, certaines grandes entreprises ont converti leur système de chauffe vers la biomasse ou elles ont construit de nouvelles serres en utilisant le biogaz comme source d'énergie. Finalement, le lecteur trouvera à l'[ANNEXE G : Description des équipements consommateurs d'énergie](#) un descriptif détaillé des systèmes de génération et de distribution de chaleur qu'on peut retrouver dans les serres québécoises.

## 4. Utilisation des rejets thermiques dans la production en serre

### 4.1 Situation actuelle

En l'état actuel de la situation, la valorisation des rejets thermiques industriels en tant qu'énergie de chauffage de substitution représente à court et moyen terme une voie réaliste, tant techniquement qu'économiquement, d'amélioration significative de la productivité de la serriculture québécoise. Elle permettrait aux entreprises d'accéder à une énergie thermique déjà existante, mais non utilisée, sécurisée, à des prix stables et très compétitifs.

Le gisement énergétique que représentent les rejets thermiques est énorme. En effet, les données chiffrées présentées ci-dessous permettent de mesurer l'ampleur de ce « gisement énergétique » ainsi que les avantages économiques et environnementaux que générerait sa valorisation.

En 2007, la consommation d'énergie totale au Québec était de 504 TWh alors que le potentiel énergétique annuel des rejets thermiques est de 77 TWh, soit 15,3% de l'énergie consommée à l'échelle provinciale.<sup>19</sup>

Il en coûterait pour produire cette même quantité d'énergie non valorisée en brûlant du gaz naturel 2,9 milliards \$ pour l'année 2008, soit 1,1% du PIB québécois pour cette même année. En terme d'économies des gaz à effet de serre (GES), cela représenterait un total annuel de réduction potentielle d'émissions des GES de 13,9 millions de tonnes équivalent de CO<sub>2</sub>, soit plus de 15 % des émissions des GES au Québec. Pour obtenir plus d'informations quant au potentiel énergétique du Québec, le lecteur peut consulter l'étude « Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec »<sup>20</sup>. Dans le cadre de cette étude, INNOVAGRO consultants a dressé un premier inventaire des générateurs industriels de rejets thermiques : par région administrative, par code SCIAN, par nom commercial, avec la localisation toponymique, avec la caractérisation des rejets thermiques (eau chaude et/ou gaz chauds) et avec l'estimation du potentiel énergétique annuel.

Cependant, au Québec, malgré la présence d'un « gisement » très important, la valorisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage alternative est anecdotique et ne concerne, en 2013, que 1,5% de la superficie totale de serres en production, soit actuellement deux complexes de serres pour un total de 4,2 hectares. Par le passé, deux autres complexes de serre ont également valorisé les rejets thermiques industriels. Ces expériences passées et actuelles représentent les 2 principaux cas de figure de valorisation des rejets thermiques industriels au Québec, soit :

- utilisation d'énergie thermique à basse température (<50°C) dans des réseaux de distribution à air chaud ou eau chaude par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur pour en monter la température (>50°C)

<sup>19</sup> NIGET, J.M. (2010) Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec

<sup>20</sup> [http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/developpement\\_regional/ruralite/groupes\\_travail/potentiel\\_energetique\\_rejets\\_thermiques.pdf](http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/developpement_regional/ruralite/groupes_travail/potentiel_energetique_rejets_thermiques.pdf)

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

- utilisation directe d'énergie thermique haute température (>50°C) dans un réseau de chauffage conventionnel.

Des recherches ont permis d'identifier au Québec quatre complexes de serres utilisant, ou ayant utilisé, des rejets thermiques industriels comme source de chauffage :

- Serres Francis Lemaire à Kingsey Falls en partenariat avec Boralex (actif),
- Serres Demers à St-Nicéphore en partenariat avec Waste Management (actif),
- Serres Sagami à Jonquière en partenariat avec Elkem Métal (actif),
- Serres Jardins Nature à New Richmond en partenariat avec Smurfit Stone (fermeture de l'usine en 2005, complexe de serres toujours en activité).

Des enquêtes auprès des entreprises ci-dessus ont été complétées et ont permis d'obtenir de l'information utile pour la réalisation de ce document. Toutefois, dans un souci de confidentialité, plusieurs informations ne peuvent être divulguées (voir le [Tableau 8 : Sommaire des principales caractéristiques technico-économique des quatre complexes de serres utilisant, ou ayant utilisé des rejets thermiques](#)).

Concernant les types de rejets thermiques, les entreprises serrioles auront surtout accès à des rejets thermiques où les températures du fluide seront inférieures à 100 °C. La plupart du temps, les usines vont récupérer dans leur processus les rejets thermiques ayant des températures supérieures à 100 °C.

Tableau 8 : Sommaire des principales caractéristiques technico-économique des quatre complexes de serres utilisant, ou ayant utilisé des rejets thermiques

	Serres Francis Lemaire	Serres Demers	Serres Sagami	Serres Jardins Nature			
<b>STATUS</b>	<b>En cours</b>	<b>En cours</b>	<b>En cours</b>	<b>Arrêté</b>			
<b>ASPECTS TECHNIQUES</b>							
<b>Superficie de la serre (m<sup>2</sup>)</b>	1 858	30 008	14 995	3 999			
<b>Production</b>	Plantes en pots	Tomates	Tomates	Tomates			
<b>Lieu</b>	Kingsey Falls	St-Nicéphore	Jonquière	New Richmond			
<b>Zonage</b>	Zone blanche	Zone agricole	Zone agricole	Zone verte (agricole)			
<b>Générateur de rejets thermiques</b>	Boralex	Waste Management	Elkem Metal	Smurfit Stone			
<b>Caractérisation de la source</b>	Chaleur du circuit de lubrification de la turbine	Captage de l'énergie thermique dissipée par les moteurs	Refroidissement des eaux de procédés (haut des fourneaux)	Refroidissement des eaux de machine			
<i>Provenance</i>							
<i>Débit (L/h)</i>					570 000		
<i>Température des rejets (° C)</i>					30-35	45-53	
<i>Température d'entrée à la serre (° C)</i>					48		
<i>Valeur énergétique (MJ/h)</i>					84 404	47 717	2195
Économies annuelles					5 333 000 L de pétrole	600 000 m <sup>3</sup> de gaz naturel	
<b>Type de systèmes d'échange de chaleur</b>			Thermopompes				
<b>Capacité du système</b>		N/D	1,35MW				
<b>Système de distribution</b>	Système de distribution à eau chaude	N/D	Système de distribution à eau chaude	Réseau enterré dans le sol et réseau aérien			
<b>Couplage avec le système de distribution de chaleur</b>		Utilisation en direct	Bassin de refroidissement de 6000m <sup>3</sup>	Utilisation en direct			
<b>Pourcentage de couverture des besoins</b>		Objectif : 100%	≈100%	53 % (2002) et 74% (2003)			
<b>Type de système d'appoint</b>	Mazout no 2		Gaz naturel	Mazout no 2			
<b>Date de mise en fonction</b>	2001	2012	1979	2000 (arrêt en 2005)			

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

	Serres Francis Lemaire	Serres Demers	Serres Sagami	Serres Jardins Nature
<b>ASPECTS ÉCONOMIQUES</b>				
Coûts d'investissements (\$)		12 000 000 (2012)	1 251 000 (2012)	160 000 (2003)
Aide financière		5 000 000 (2012)		
Économies annuelles (\$/an)			275 000 (2012)	50691 (2002) et 83 202 (2003)
<b>ASPECTS CONTRACTUELS ET LÉGAUX</b>				
Garantie de fourniture		Bail de 30 ans	Entente à long terme	Aucune garantie en débit et température
Prix de la fourniture			Gratuite	
Débit et températures minimums à fournir			N/D	
Pénalités en cas d'interruption			N/D	
Définitions des responsabilités des parties			N/D	
Définition des droits de propriété des parties		N/D	N/D	Bail emphytéotique pour la location des terrains à Jardins Nature

Sources d'origine publique : Serres Demers<sup>21</sup>, Serres Sagami<sup>22</sup>

<sup>21</sup> <http://affaires.lapresse.ca/portfolio/drummondville/201010/27/01-4336685-biogaz-tomates-et-electricite.php>

<http://tvanouvelles.ca/lcn/infos/regional/sherbrooke/archives/2012/11/20121120-043524.html>

<sup>22</sup> <http://198.103.48.133/publications/infosource/pub/ici/caddet/francais/r387.cfm?attr=8>

#### **4.2 Entente entre générateur de rejets thermiques et producteur en serre**

Outre l'enjeu technique que représente l'utilisation des rejets thermiques, il a été vu qu'un des principaux points consiste à établir une entente entre le producteur en serre et le générateur de rejets thermiques. Les ententes peuvent se faire sur une longue ou une courte durée, mais de par la nature de la proximité des deux sites, des partenariats à long terme sont généralement privilégiés. Dans la plupart des cas, la fourniture du rejet thermique est gratuite. Toute, la contrepartie de cette gratuité est le fait que le générateur de rejets thermiques se décharge de toute responsabilité par rapport à la quantité d'énergie fournie. Le producteur doit faire avec les aléas du générateur.

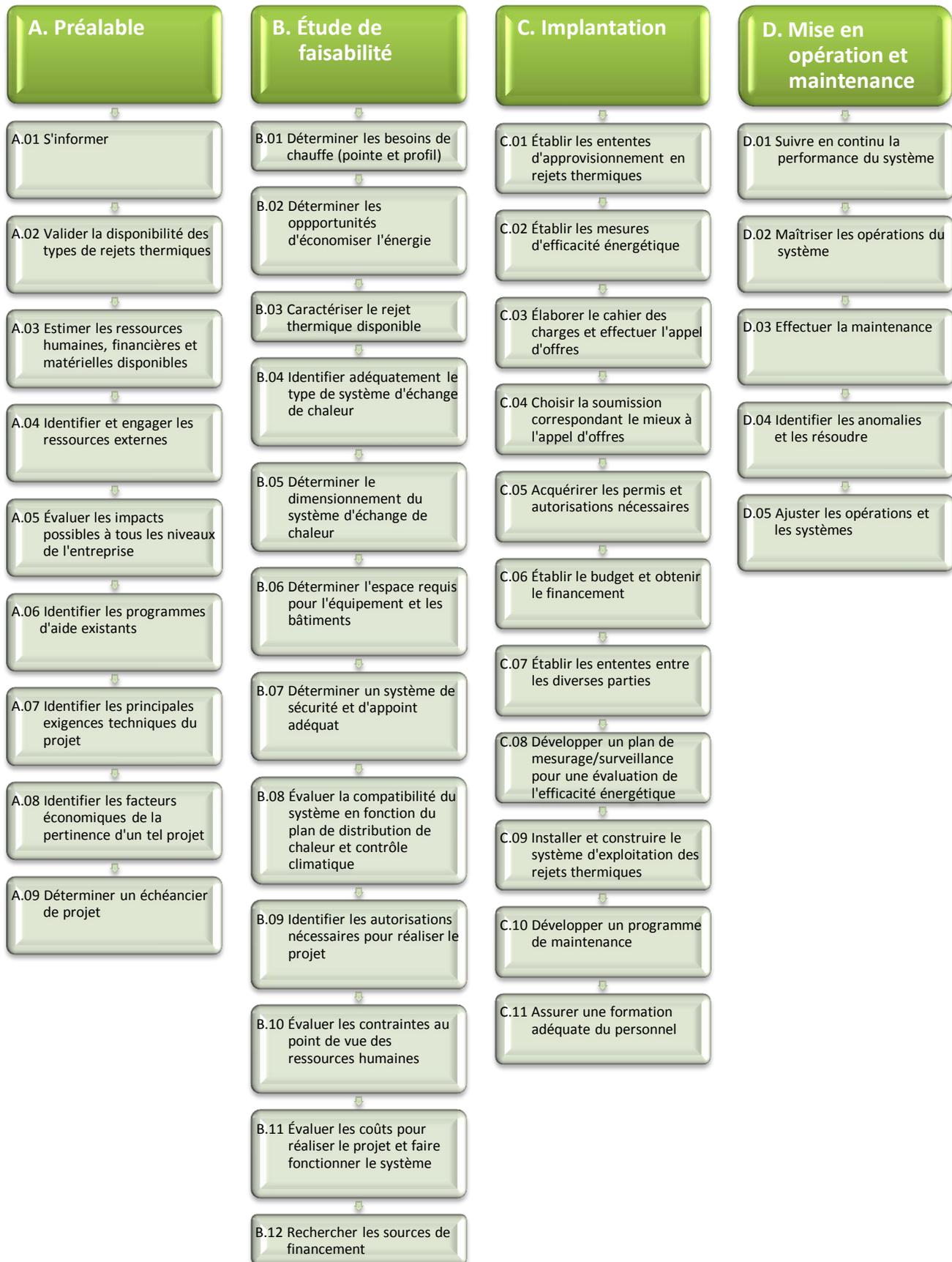


## ÉTAPES D'UNE DÉMARCHÉ D'IMPLANTATION D'UN SYSTÈME DE CHAUFFAGE À L'AIDE DE REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS

### Avis

*L'information contenue dans la prochaine section est fournie à titre indicatif. Son utilisation exige une adaptation aux conditions particulières de l'entreprise. Il faut considérer chaque projet comme un cas unique.*

Figure 2 : Processus de réalisation d'un projet d'implantation des rejets thermiques



## A. Préalable

### A.01 S'informer

Avant d'entreprendre tout projet, il importe de s'informer le plus possible. La lecture du présent document est un premier pas dans la bonne direction, car il vous permettra de vous orienter vers les ressources les plus pertinentes à la réalisation de votre projet.

### A.02 Valider la disponibilité des types de rejets thermiques

En observant l'état actuel de la situation, la valorisation des rejets thermiques industriels en tant qu'énergie de chauffage de substitution représente à court et à moyen terme une voie réaliste, tant techniquement qu'économiquement, d'amélioration significative de la productivité de la serriculture québécoise.

De par la nature des industries présentes au Québec, les rejets thermiques sont générés de manière très significative : « Pour l'année 2008, l'ensemble du gisement énergétique des rejets thermiques industriels au Québec à 273 millions de gigajoules [...] Le potentiel des rejets thermiques industriels représente 15,3% de la totalité de l'énergie consommée au Québec ».<sup>23</sup>

La démarche d'utilisation des rejets thermiques industriels émane souvent de la proposition d'un industriel d'offrir les rejets thermiques générés par sa propre entreprise à un producteur. Toutefois, un producteur en serre peut également approcher des industriels. En effet, l'identification des générateurs de rejets thermiques en portant une attention particulière aux cinq principaux secteurs d'activité générant de tels rejets : pâtes et papiers, raffinage de pétrole, production d'alumine et d'aluminium primaire, fonderies de métaux non ferreux et production d'électricité thermique. Toutefois, il existe de nombreux autres secteurs fournissant des rejets thermiques tel que les industries alimentaires ou encore celles de haute technologique.

Lorsqu'une source de rejets thermiques est identifiée, il importe d'en réaliser une brève analyse quantitative qui permettra de voir l'ampleur de la disponibilité et du volume énergétique. Cette analyse devrait permettre de dégager le débit et la température des rejets thermiques en fonction du temps.

De plus, à ce stade, une évaluation de la pérennité de la source doit se faire. Le type d'activité du partenaire industriel est stratégique en termes de pérennité de la source d'énergie thermique alternative. Une centrale de cogénération sous contrat de longue durée avec Hydro-Québec est un gage de disponibilité des rejets thermiques sur le long terme qui réduit considérablement les risques financiers d'investissement pour l'entreprise serricole. Un partenaire industriel (ex : pâtes et papiers, chimie) est potentiellement plus à risque, son existence même pouvant être remise en question dans

---

<sup>23</sup> NIGET, J.M. (2010) Potentiel énergétique des rejets thermiques industriels au Québec

des délais brefs (exemple : restructuration des coûts de production, fusion – acquisition) ou encore en cas de dégradation du contexte commercial international.

Bref, le producteur devra s'assurer que le rejet thermique est disponible à court et surtout à long terme lors de l'implantation du système de récupération de chaleur. En outre, plusieurs questions doivent être considérées

- La source est-elle disponible en continu ?
- Y a-t-il fréquemment des arrêts de production ?
- L'entreprise offrant le rejet thermique présente-t-elle une bonne fiabilité financière ?
- Le contrat de rejet thermique sera-t-il bien défini ?
- Le rejet comporte-t-il des risques de contamination ?
- Des mesures de qualités sont-elles prises sur le rejet en place ?

Il n'est pas essentiel de connaître toutes les réponses pour commencer une démarche de récupération de chaleur, mais le producteur devra s'assurer de bien connaître ces enjeux avant de prendre une décision finale d'investissement.

<b>A.03 Estimer les ressources humaines, financières et matérielles de l'entreprise qui seront disponibles</b>
--

Afin d'éventuellement planifier les ressources humaines, il importe d'estimer les ressources humaines qui seront disponibles pour la réalisation de toutes les phases du projet. En effet, les ressources humaines représentent une fonction complexe et elle est déterminante dans le succès d'une entreprise. Ainsi, il importe de se demander quelles sont les fonctions actuelles des employés de l'entreprise ainsi que les tâches que ces derniers devront accomplir dans l'éventuel projet en adéquation avec leurs compétences. Il faut décrire les responsabilités qu'aura chaque employé et les tâches qu'il accomplira au sein de l'entreprise ainsi que les mécanismes de prise de décision pour chacun. Il faut inclure toutes les activités incluant le financement, la production ou encore la gestion. Si les ressources humaines actuelles de l'entreprise ne peuvent pas effectuer adéquatement ces nouvelles fonctions, l'entreprise devra effectuer les démarches nécessaires pour combler ce manque par de la formation auprès de ses employés et cadres, ou encore par le recrutement de nouveaux employés.

En ce qui a trait à l'évaluation des ressources financières, le producteur doit tout estimer les ressources financières dont il dispose. Ainsi, il peut être nécessaire de dresser un bilan de ses revenus, de son déficit pour obtenir un bilan de ses liquidités. Il doit aussi vérifier le financement auquel il aura accès et vérifier l'ampleur ainsi que son capital-actions.

Finalement, il importe de dresser un bilan des ressources matérielles. Un tel bilan inclus de dresser une liste complète des équipements, des outils et des bâtiments mis à disposition du producteur.

#### **A.04 Identifier et engager les ressources externes qui soutiendront votre démarche**

Afin d'assurer le succès d'une démarche d'implantation d'un système de chauffage à l'aide de rejets thermiques industriels, il est important de savoir qu'il existe des professionnels qui peuvent vous supporter et vous faciliter certains aspects de la tâche. Les principales ressources qui devront posséder de l'expérience dans l'industrie serricole vous seront nécessaires dans le cadre d'un tel projet seront un ingénieur (identification des besoins et analyse de la dynamique énergétique de l'entreprise), un agronome et un conseiller en gestion.

Le rôle de l'ingénieur ou d'une firme d'ingénierie ayant de l'expérience dans des projets de rejets industriels sera aussi important puisqu'il consistera notamment à déterminer le type d'échangeur de chaleur le plus pertinent selon la caractérisation des rejets thermiques, à veiller à sélectionner et à dimensionner un système de distribution adéquat tout en tenant compte des besoins de l'entreprise serricole.

#### **A.05 Évaluer les impacts possibles d'un tel projet dans l'entreprise et à tous les niveaux**

Le producteur doit évaluer les différents impacts qu'un tel projet peut avoir au sein de son entreprise. Les impacts, aussi nombreux soient-ils, peuvent inclure :

- Impacts sociaux (remaniement des employés, image de la compagnie, etc.)
- Impacts économiques (gestion des liquidités, capacité d'emprunt, etc.)
- Impacts environnementaux (autorisation environnementale nécessaire, suivi environnemental, plan de surveillance, etc.)

#### **A.06 Identifier les programmes d'aide existants, leurs préalables et les règles d'application**

L'offre de programmes d'aide financière offerts pour réaliser des projets ayant trait à l'efficacité énergétique varie grandement, particulièrement dans le temps. En plus, les critères d'admissibilité sont diversifiés : type de combustible préalablement utilisé, seuil de consommation, type de projet, etc. De plus, l'aide financière offerte varie grandement d'un programme à l'autre puisque le calcul de celle-ci peut se faire sur différentes bases : nombre de tonnes de GES réduites, pourcentage des coûts d'investissements, somme pour réduire la période sur l'investissement, etc.

L'octroi d'aide financière peut contribuer à alléger les sommes investies qui seront nécessaires. Ainsi, la recherche d'aide financière doit être réalisée très tôt en début de projet afin que ce ne soit pas cet élément qui ralentisse la recherche. Dans un tel projet, la participation de l'entreprise fournissant les rejets thermiques est à envisager.

Il peut être bon de regarder du côté des principaux organismes subventionnaires :

- Agriculture et Agroalimentaire Canada
- Bureau de l'innovation et de l'efficacité énergétiques
- Gaz Métro
- Hydro-Québec
- Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec
- Ministère des Finances et de l'Économie du Québec
- Ministère des Ressources naturelles du Québec
- Ressources naturelles Canada

### **A.07 Identifier les principales exigences techniques du projet**

Avant d'entreprendre un projet d'utilisation des rejets thermiques comme source de chauffage dans la production en serre, il est primordial de cibler les principales exigences techniques du projet. Ces exigences relèvent des principaux domaines suivants :

- Détermination des besoins énergétiques réels au niveau des consommations et des puissances de chauffe selon les serres et leurs utilisations dans le temps.
- Caractérisation du rejet thermique, évaluation du potentiel énergétique et interruptibilité de la source.
- Utilisation d'un système d'échange de chaleur adéquat.
- Utilisation d'un système de distribution approprié à la culture.
- Choix d'un système d'appoint couvrant les interruptions de fourniture de rejets thermiques.

Il est important de noter que dans le cadre d'un projet d'utilisation de rejets thermiques, l'entreprise sericole devra la plupart du temps construire et opérer un nouveau complexe de serres à l'endroit même où les rejets thermiques seront localisés.

### **A.08 Identifier les facteurs économiques de la pertinence d'un tel projet dans l'entreprise**

La contrepartie de la fourniture à faible coût ou gratuite de l'énergie réside dans des coûts d'investissements très élevés d'un tel type de projet. En effet, plusieurs infrastructures supplémentaires sont nécessaires pour être en mesure d'exploiter les rejets thermiques disponibles (mise en place du circuit de rejets thermiques et/ou d'eau, système d'échange de chaleur, pompes, etc.). Évidemment, l'entreprise a ensuite accès à des prix compétitifs d'énergie, mais elle doit pouvoir supporter l'investissement initial nécessaire.

### **A.09 Déterminer un échancier de projet**

Il est indispensable de réaliser un échancier de projet. Un tel outil permet d'inventorier l'ensemble des activités du projet, les dates de début et de fin ainsi que toutes les interdépendances entre ces activités. Ultiment, cela permettra au gestionnaire de connaître la durée totale du projet, la date de fin ainsi que les activités du chemin critique, c'est-à-dire les activités qui, de par un retard, sont susceptibles de décaler la date de fin de tout le projet. Il s'agit là du chemin critique. Il existe de nombreuses techniques pour réaliser un échancier de projet et en permettre son suivi telles que le diagramme de Gantt ou un diagramme de jalon.

## B. Étude de faisabilité

### B.01 Déterminer les besoins de chauffe (pointe et profil)

#### B.01.1 – Estimation de la consommation d'énergie

Pour évaluer les besoins énergétiques d'une ou plusieurs serres au niveau de la chauffe, l'entreprise serricole doit réaliser dans un premier temps un bilan énergétique.

Un bilan énergétique peut être fait à partir d'historiques ou encore par simulation. Celui-ci permet à l'entreprise d'estimer :

- les consommations d'énergie (selon les consignes et les périodes de chauffe anticipées);
- les puissances de chauffe (puissance totale et de pointe à envisager)
  - À noter que divers scénarios peuvent être réalisés par un professionnel pour raffiner l'analyse et l'identification des besoins qui prendront en compte d'autres paramètres technico-économique;
- la performance énergétique de l'entreprise.

Lorsque l'entreprise dimensionnera ou sélectionnera les diverses composantes du futur système de chauffe, celle-ci devra tenir compte de leurs performances réelles. En effet, l'intégration et l'harmonisation de ces diverses composantes aux systèmes existants et aux modes d'opération de la serre influenceront leurs performances et leurs pertinences d'un point vu technico-économique.

Les principaux éléments qui influencent la consommation d'énergie d'une serre sont :

- L'aménagement de la serre.
- La conception de la serre.
- Les matériaux isolants et de recouvrement utilisés.
- L'étanchéité de la serre.
- L'utilisation ou non d'écrans thermiques.
- L'efficacité des systèmes de :
  - génération de chaleur;
  - distribution de chaleur;
  - ventilation;
  - déshumidification.
- L'utilisation d'un système de contrôle harmonisant le fonctionnement des autres systèmes en place, la gestion climatique et les stratégies de production.
- Les modes de gestion, d'opération et de maintenance des serres (aspects agronomiques et techniques, utilisation des superficies, formation et connaissance de la main-d'œuvre).
- Consignes de chauffe, de ventilation et de déshumidification et d'autres systèmes.
- Périodes d'opération de la serre.
- Localisation de la serre.

Pour estimer la consommation d'énergie d'une serre individuelle ou jumelée, il y a principalement trois façons de faire.

1. Effectuer un bilan énergétique.

Des professionnels peuvent effectuer un bilan énergétique et normaliser les résultats pour estimer la consommation d'énergie en tenant compte des historiques météo, des historiques de consommations d'énergie, des systèmes en place et des paramètres d'opération.

2. Effectuer une simulation.

Des professionnels peuvent effectuer une simulation des consommations d'énergie pour une serre donnée en tenant compte des historiques météo, des caractéristiques de la serre, des systèmes en place et des paramètres d'opération anticipés. La simulation peut être faite pour des serres existantes ou non.

3. Utiliser le document « Chauffage des serres - Consommation mensuelle de combustible » publié par le CRAAQ.

Ce document est utilisé pour estimer rapidement la consommation d'énergie d'une serre ne possédant pas d'historique de consommation d'énergie pour un régime climatique donné. Le « Centre de Référence en agriculture et agroalimentaire du Québec (CRAAQ) » a publié en juin 2009 ce document. Il permet d'estimer les consommations d'énergie d'une serre individuelle ou encore d'une serre jumelée couvrant cinq régions du Québec (Montréal, Québec, Mont-Joli, Baie-Comeau, Normandin) et pour divers régimes climatiques le tout sur une base mensuelle et exprimées en litre de mazout no, 2 par mètre carré. Ce document est disponible sur le site Internet du CRAAQ<sup>24</sup>. Les résultats peuvent être ajustés en fonction de la source d'énergie utilisée et des caractéristiques de la serre.

### B.01.1.1 – Effectuer un bilan énergétique

Le bilan énergétique permet d'évaluer les consommations d'énergie qui est propre à la serre ou encore au complexe de serres. Chaque serre ou complexe de serres aura son propre ratio d'efficacité énergétique qui lui est propre et exprimé en terme de « kWh brut/m<sup>2</sup> / 100 DJc ».

Le ratio est exprimé en terme de « kWh brut » pour tenir compte des diverses sources d'énergie qu'une entreprise serricole peut utiliser pour la chauffe. La superficie (m<sup>2</sup>) tient compte de l'utilisation des superficies chauffées pour la période analysée. Les DJc tiennent compte des consignes réelles de chauffe et des températures extérieures pour la période analysée. La période analysée doit couvrir un an d'opération.

Pour évaluer le ratio, on doit tenir compte principalement pour la serre et la période analysée : des consommations d'énergie (exemple : volume des achats), des caractéristiques de la source d'énergie (exemples : contenu énergétique net pour le mazout lourd, la biomasse), des inventaires de début et de la fin (exemples : mazout léger, mazout lourd, biomasse), des jours et des superficies de serres qui ont

<sup>24</sup> AGDEX 717/290 Juin 2009 – [www.craaq.qc.ca](http://www.craaq.qc.ca)

été chauffées, des consignes de chauffe, de l'utilisation des systèmes d'éclairage artificiel avec ou sans écrans thermiques. Il ne faut pas confondre avec les consignes de ventilation. Le jour, on prend le minimum entre la consigne de chauffe et la température réalisée dans la serre pour évaluer les DJc réels. Cette façon de faire élimine l'excédent de chaleur provenant des gains solaires de jour.

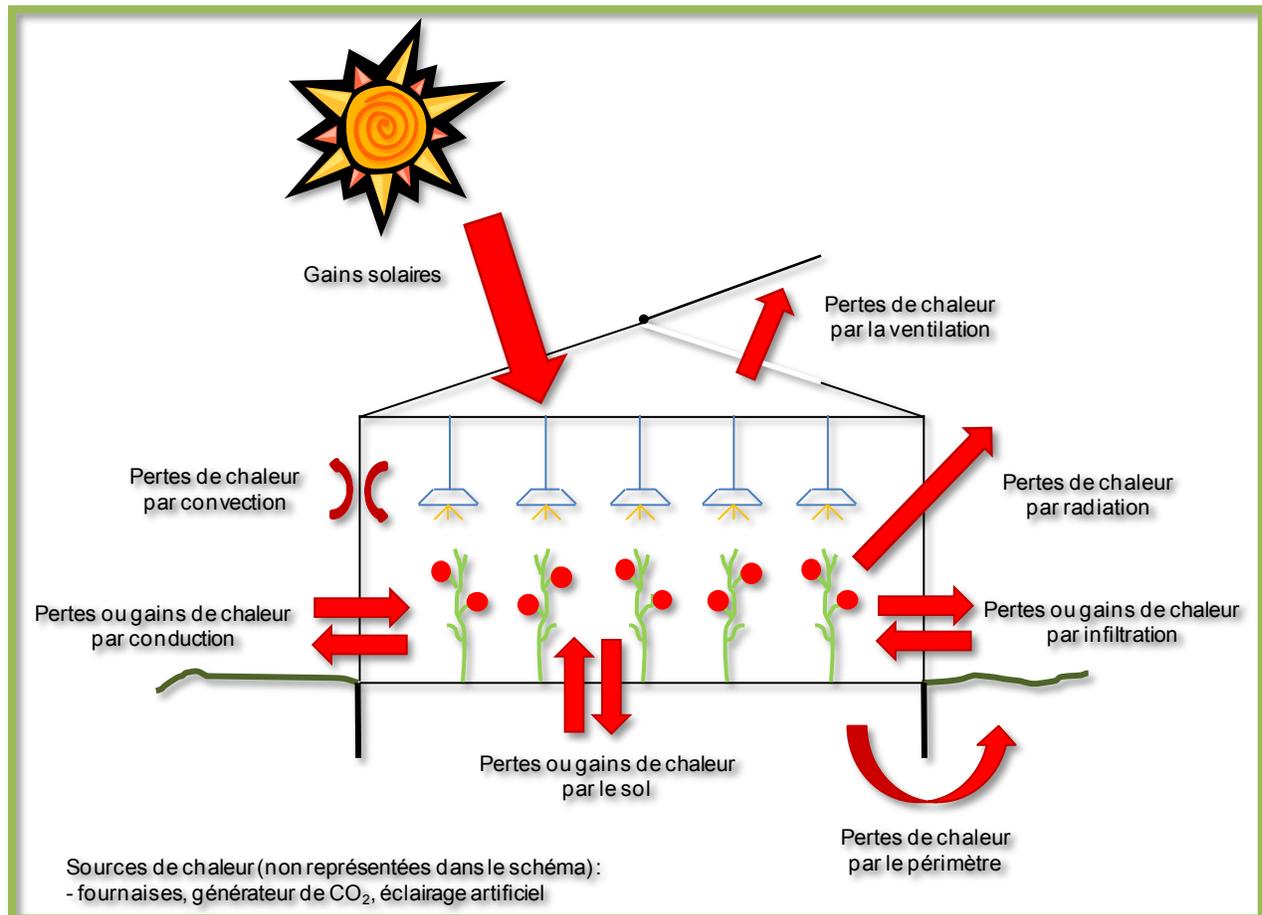
Ce ratio demeure valable tant aussi longtemps que la serre ne subisse pas de changements majeurs au niveau des systèmes (exemples : optimisation de l'isolation, ajout d'écrans thermiques) et de l'utilisation des serres (exemples : jours et superficies utilisées, consignes de chauffe). Ce ratio est calculé pour des serres où l'on possède des historiques de consommation et d'utilisation. L'aide de professionnels ayant de l'expérience en serriculture est recommandée pour : effectuer le bilan énergétique, évaluer le ratio et interpréter adéquatement les résultats.

Dans la pratique, le ratio d'efficacité énergétique est évalué lors d'audit énergétique avant et après un projet d'optimisation qui aurait un impact sur la consommation d'énergie (exemples : optimisation de l'isolation, amélioration des procédés d'opération). La différence entre les deux ratios donne le taux d'amélioration de l'efficacité énergétique de la serre en lien avec le projet d'optimisation. Lorsque les historiques de consommation et d'opération ne sont pas disponibles ou précis, il faut réaliser des simulations pour estimer les consommations d'énergie.

### B.01.1.2 – Effectuer une simulation énergétique

La simulation consiste à effectuer un bilan énergétique d'une serre sur une base horaire en tenant compte des gains thermiques et des pertes de chaleur. La Figure 3 présente les échanges de chaleur entre la serre et son environnement.

Figure 3 : Gains et pertes d'énergie dans une serre<sup>25</sup>



Pour réaliser la simulation, il faut déterminer sur une base horaire et sur une année d'opération les paramètres suivants :

- le coefficient global de transfert de chaleur de la serre :  $U_g$  ( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ )
- la superficie plancher de serre :  $S_c$  ( $m^2$ )
- la température intérieure désirée :  $T_i$  ( $^\circ C$ )
- la température extérieure :  $T_e$  ( $^\circ C$ )
- l'ensoleillement global reçu considéré :  $E_s$  ( $W \cdot m^{-2}$ )
- l'efficacité globale de captage de la radiation solaire reçue :  $e_s$
- la superficie de captage de la radiation solaire reçue :  $S_s$  ( $m^2$ )

<sup>25</sup> Natural Resource, Agriculture, and Engineering Service (NRAES-3) – Adaptation : CIDES inc.

- la puissance de chaleur dégagée provenant de l'éclairage artificiel :  $Q_{ea}$  (W)
- l'efficacité globale de la chaleur utilisée provenant de l'éclairage artificiel qui tient compte de l'utilisation ou non d'écrans thermiques :  $e_{ea}$
- la puissance de chaleur dégagée provenant d'un générateur de  $CO_2$  (générateur au propane ou au gaz naturel localisé dans la serre):  $Q_{CO_2}$  (W)
- la puissance de chaleur dégagée provenant d'un tapis chauffant ou encore un plancher chauffant :  $Q_{T/P}$  (W)
- le facteur de correction associé au taux de déshumidification de la serre :  $F_H$
- le facteur de correction associé au vent :  $F_V$

Les commentaires suivants s'appliquent aux différents paramètres :

- Le coefficient global de transfert de chaleur de la serre (facteur  $U_g$ ) tient compte des pertes de chaleur par conduction et par convection (infiltrations d'air). Le facteur  $U_g$  est principalement fonction :
  - des matériaux de recouvrement et d'isolation choisis;
  - des superficies : plancher de serre, murs, toit;
  - du volume d'air de la serre;
  - du nombre de changements d'air associé au type de serre.
- Les pertes de chaleur par radiation peuvent être considérées comme négligeables par rapport à l'ensemble des pertes de chaleur d'une serre.
- Concernant l'utilisation des écrans thermiques, il ne faut pas en tenir compte dans le calcul du facteur  $U_g$ . Cependant, l'écran thermique peut être pris en compte lors de la simulation. Dans ce cas, l'entreprise doit veiller à ce que les écrans thermiques soient pleinement opérationnels lors des périodes de pointe de chauffe de l'entreprise pour que les résultats de la simulation soient toujours valables. La réalisation de scénarios avec ou sans écrans thermiques peut être aussi réalisée pour en évaluer l'impact. L'impact pourra en outre influencer les choix de l'entreprise au niveau de la sécurité liée à la chauffe et par le fait même les choix techniques associés à la conception du système de chauffe.
- Le facteur  $U_g$  d'une serre donne une idée globale du taux de transfert de chaleur. Ainsi, le facteur  $U_g$  peut varier avec le temps (dégradation des matériaux de recouvrement ou d'isolation) et même périodiquement (exemple : utilisation d'ouvrants latéraux enroulables dès le printemps).
- Le lecteur trouvera une multitude de documents sur Internet qui présentent des façons d'évaluer le facteur  $U_g$ .
- La température extérieure doit provenir de l'historique météo de la région où la serre est localisée. Idéalement, il faut l'historique météo 30 ans. Le minimum est un historique météo de 10 ans.
- L'ensoleillement global reçu considéré doit provenir de l'historique météo de la région où la serre est localisée. Idéalement, il faut l'historique météo 30 ans. Le minimum est un historique météo de 10 ans.
- L'efficacité globale de captage de la radiation solaire reçu est d'environ 0,60 pour les serres utilisant les films doubles en polyéthylène. Pour les serres de verre, un taux de 0,80 peut être utilisé.

- Concernant la superficie de captage de la radiation solaire reçu, il est possible de prendre tout simplement la superficie plancher de serre pour simplifier les calculs.
- La puissance émise par l'éclairage artificiel est la somme des puissances qui proviennent des lampes et des ballasts. L'efficacité globale de la chaleur utilisée provenant de l'éclairage artificiel est d'environ 0,25 lorsque les écrans thermiques sont inexistantes ou encore non utilisés. Ce taux grimpe à environ 0,50 lorsque les écrans thermiques sont utilisés. Ces taux sont des hypothèses de travail.
- Le facteur de correction associé au taux de déshumidification de la serre varie selon le type de production. Sur une base annuelle, le taux varie entre 1,15 et 1,30 pour les productions maraîchères qui possèdent une masse foliaire importante. Ce taux varie de 1,025 à 1,15 pour les productions ornementales ou maraîchères qui ne possèdent pas une masse foliaire importante.
- Le facteur de correction associé au vent varie selon la vitesse du vent. Le **Tableau 9** présente les facteurs qui peuvent être utilisés. Pour le vent, il faut idéalement l'historique météo 30 ans. Le minimum est un historique météo de 10 ans.

Tableau 9 : Facteur de correction associé au vent<sup>26</sup>

Classe de vent		Facteur de correction
m.p.h	km/h	
<b>0 à 15</b>	0 à 24,1	1
<b>15 à 20</b>	24,1 à 32,2	1,04
<b>20 à 25</b>	32,2 à 40,2	1,08
<b>25 à 30</b>	40,2 à 48,3	1,12
<b>30 à 100</b>	48,3 à 160,9	1,16

Ainsi, la *puissance nette* de chauffe sur une base horaire ( $Q_H$ ) nécessaire pour répondre au besoin énergétique de la serre correspond à l'équation suivante :

$$Q_H = \left[ \left( \sum_1^i U_g \cdot S_c (T_i - T_e) - E_s \cdot S_s \cdot e_s - Q_{ea} \cdot e_{ea} - Q_{CO2} - Q_{T/P} \right) \cdot F_H \right] \cdot F_V$$

où...

- « i » est le nombre de serres distinctes à analyser
- $Q_H$  est la puissance nette de chauffe horaire (W) : si  $Q_H < 0$ , alors la ou les serres analysées n'ont pas besoin de chauffe pour cette heure-là.

Les résultats obtenus sur une base horaire et répartis sur une année permettent d'évaluer : la consommation nette d'énergie, les puissances nettes de chauffe (modulation) et la puissance nette de pointe dans une année. L'équation peut être adaptée et utilisée pour tenir compte des particularités des

<sup>26</sup> Virtual Grower – United States Department of Agriculture

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

entreprises et des projets d'implantation de nouveaux systèmes (exemples : implantation d'un réservoir d'hydro-accumulation, utilisation des rejets thermiques).

Aussi, le professionnel peut développer divers scénarios en lien avec la conception et l'utilisation possible des nouveaux systèmes. Ces divers scénarios permettent au professionnel :

- d'analyser les impacts possibles des nouveaux systèmes sur la chauffe d'un point de vue technico-économique;
- de développer et de valider jusqu'à un certain niveau la conception et l'utilisation anticipée des nouveaux systèmes.

Les hypothèses de travail choisies pour effectuer les simulations devront tenir compte principalement des aspects liés à l'ingénierie et à la production en serre.

### **B.01.2. Coût réel de la chauffe**

Lorsqu'une entreprise choisit une source d'énergie, celle-ci devrait évaluer le coût réel par kWh net de chauffe et non seulement par le coût unitaire. Le coût de la chauffe doit tenir compte des principaux éléments suivants :

- le contenu énergétique de la source d'énergie;
- la performance du système de chauffe;
- les frais de livraisons;
- les frais associés au système de chauffe (exemples : implantation du système de chauffe, aménagement de l'aire d'entreposage, opération du système de chauffe, maintenance, frais financiers en considérant la durée de vie du système de chauffe et sa désinstallation).

Le lecteur peut s'inspirer de la fiche « Évaluation économique d'un projet de chauffage à la biomasse » disponible sur le site Internet<sup>27</sup> du « Syndicat des producteurs en Serre du Québec » pour évaluer le coût réel de la chauffe. Cette fiche a été développée pour la biomasse, mais elle peut s'appliquer aussi bien pour d'autres types de sources d'énergie.<sup>28 29 30</sup>

La planification des achats est essentielle non seulement pour assurer la disponibilité de la source d'énergie et son entreposage adéquat (s'il y a lieu), mais aussi pour planifier les coûts de production et leurs impacts sur les finances de l'entreprise.

### **B.01.3. Puissance de chauffe**

La puissance de chauffe nécessaire pour répondre au besoin de chauffe est fonction :

- du système de chauffe choisi;
- de la performance du système de chauffe;

<sup>27</sup> Liens Internet disponibles lors de la publication de ce rapport.

<sup>28</sup> [http://www.spsq.info/spsq\\_fichiers/files/fiche\\_parametres\\_economiques\\_biomasse.pdf](http://www.spsq.info/spsq_fichiers/files/fiche_parametres_economiques_biomasse.pdf)

<sup>29</sup> [http://www.spsq.info/spsq\\_fichiers/files/Calculs\\_economiques\\_chauffage\\_biomasse-travail.xls](http://www.spsq.info/spsq_fichiers/files/Calculs_economiques_chauffage_biomasse-travail.xls)

<sup>30</sup> [http://www.spsq.info/spsq\\_fichiers/files/Calculs\\_economiques\\_chauffage\\_biomasse-exemple\(1\).xls](http://www.spsq.info/spsq_fichiers/files/Calculs_economiques_chauffage_biomasse-exemple(1).xls)

- du niveau de sécurité recherché.

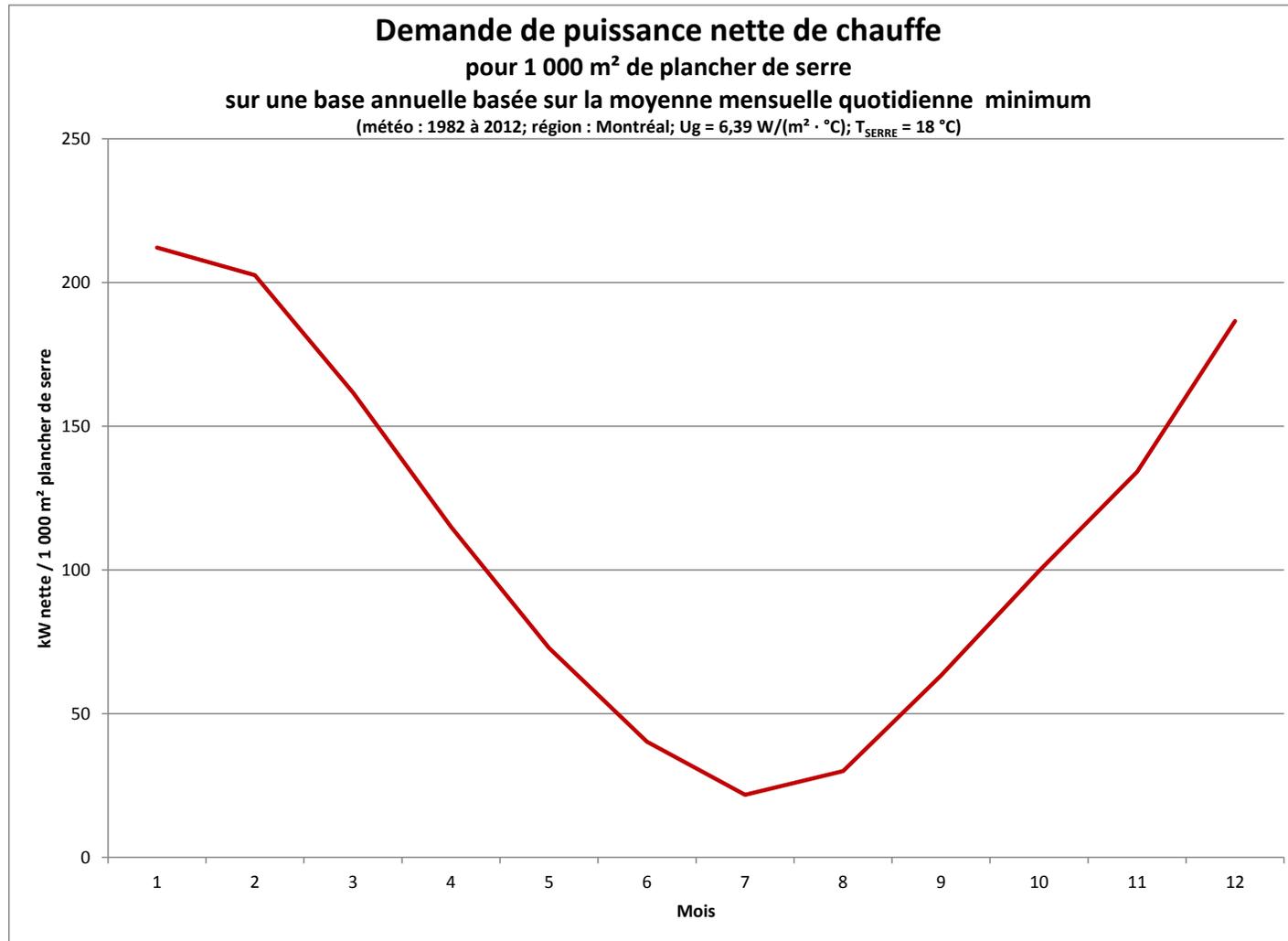
Le **Graphique 5** et le **Graphique 6** donnent un aperçu de la variation de la demande de chauffe nette sur une base annuelle et horaire. Ces graphiques ne doivent pas être utilisés pour évaluer la puissance nette de chauffe à installer.

Pour évaluer la puissance nette de chauffe à installer dans une serre, la température d'exception à 1 % est recommandée du mois le plus froid où la serre doit être en activité au lieu de la température moyenne mensuelle quotidienne minimum ou encore les températures records de froid.

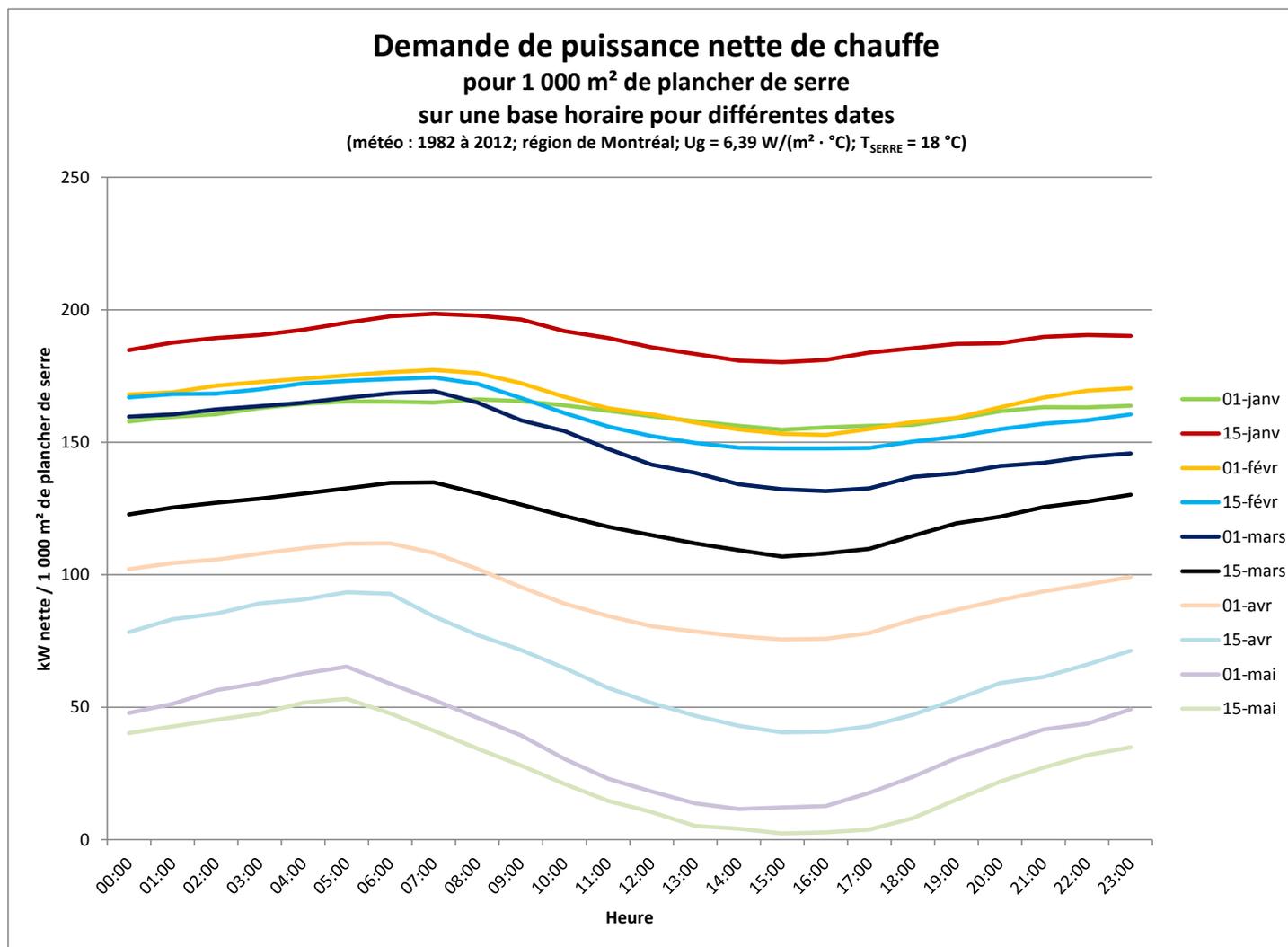
D'autres calculs devront être réalisés pour tenir compte des particularités :

- liées aux opérations de la serre;
- des infrastructures et des systèmes déjà présents ou encore à venir.

Graphique 5 : Demande de puissance nette de chauffe pour 1 000 m<sup>2</sup> de plancher de serre sur une base annuelle basée sur la moyenne mensuelle quotidienne minimum



Graphique 6 : Demande de puissance nette de chauffe pour 1 000 m<sup>2</sup> de plancher de serre sur une base horaire basée sur les températures moyennes horaires 30 ans



#### B.01.4. Puissance de pointe

La puissance de pointe se définit comme étant la puissance de chauffe maximale nécessaire pour répondre au besoin de chauffe au moment où celui-ci serait le plus sollicité.

La puissance de pointe ( $Q_{PD}$ ) est évaluée de la façon suivante.

$$Q_{PD} = U_g \cdot S_c \cdot (T_i - T_{1\%}) \cdot F_s$$

où...

- $U_g$  ( $W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$ ) est le coefficient global de transfert de chaleur de la serre
- $S_c$  ( $m^2$ ) est la superficie plancher de serre
- $T_i$  ( $^\circ C$ ) est la température intérieure désirée
- $T_{1\%}$  ( $^\circ C$ ) est la température extérieure à 1 % d'exception
- $F_s$  est un facteur de sécurité (par défaut est égal à 1,15)

##### Température extérieure à 1 % d'exception

La température extérieure à 1 % d'exception représente la température qui sera en dessous de cette valeur 1 % du temps dans le mois de janvier (environ 8 heures). Il est reconnu en serriculture de prendre cette valeur. Certains utilisent les températures record, mais cette façon de faire surdimensionne la puissance de chauffe à installer. La température extérieure à 1 % d'exception en janvier est disponible à l'annexe B pour diverses régions

Cette valeur est disponible seulement pour le mois de janvier. En effet, cette valeur est évaluée à l'origine pour les bâtiments normaux. Or les bâtiments sont chauffés généralement à l'année et le mois de janvier a été choisi, car c'est le mois où les températures sont les plus froides durant l'année. Ainsi, la température extérieure à 1 % d'exception de janvier couvrirait les besoins de pointe pour les bâtiments normaux.

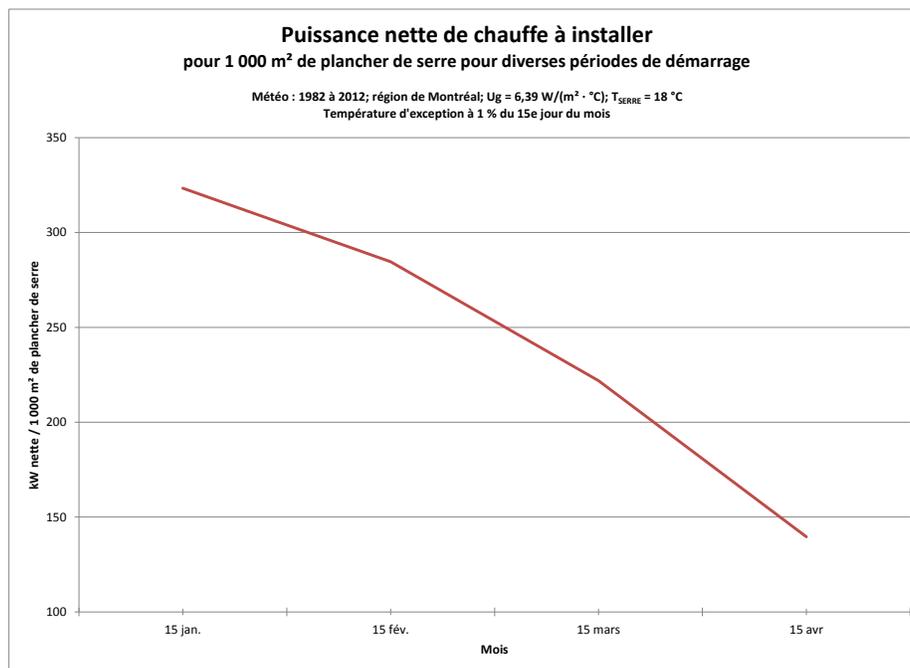
En serriculture, la température d'exception à 1 % en janvier peut être utilisée pour les mois de décembre, janvier, février. Le CIDES a développé le **Tableau 10** qui présente la température extérieure à 1 % d'exception pour la région de Montréal pour diverses périodes entre la mi-février et mai. Contrairement aux bâtiments normaux, les serres peuvent commencer à être chauffées plus tard qu'en janvier.

Tableau 10 : Température extérieure à 1 % d'exception (Montréal)<sup>31</sup>

Période d'ouverture de la serre	T <sub>1%</sub>
	°C
Janvier (mois au complet)	-26
Mi-février	-21
Mars (début)	-18
Mi-mars	-12
Avril (début)	-5
Mi-avril	-1
Mai (début)	3

Le Graphique 7 présente la variation de la puissance nette de chauffe à installer d'une serre pour diverses périodes de démarrage à partir de la température d'exception à 1 % et un facteur de sécurité de 1,15. La puissance nette représente un système de chauffe qui aurait une efficacité de 100 % (système de génération et de distribution de chaleur). Ainsi, la puissance brute (Q<sub>B</sub>) à installer sera toujours plus élevée que la puissance nette (Q<sub>N</sub>) à installer : Q<sub>B</sub> > Q<sub>N</sub> et Q<sub>B</sub> = Q<sub>N</sub> / Efficacité globale du système de chauffe.

Graphique 7 : Puissance nette de chauffe à installer pour 1 000 m<sup>2</sup> de plancher de serre pour diverses périodes de démarrage



### Analyses supplémentaires

<sup>31</sup> Historique météo 1983-2012 (région de Montréal)

Dans certains cas, l'entreprise devra réaliser une simulation pour évaluer la puissance de chauffe de pointe et ainsi éviter le surdimensionnement du système de chauffe. La simulation est requise quand une entreprise serricole désire utiliser un système de chauffe centralisé et lorsque les serres seront opérées à des dates différentes ou encore lorsque le système de chauffe utilisera un réservoir d'hydro-accumulation.

### B.01.5. Facteurs influençant la consommation d'énergie et la puissance nette de chauffe

Le **Tableau 11** présente les facteurs ayant une influence sur la consommation d'énergie ou encore la puissance nette de chauffe à installer.

**Tableau 11 : Facteurs ayant une influence sur la consommation d'énergie ou encore la puissance de chauffe à installer**

#	Facteur	Commentaires
1	Localisation de la serre	Le nombre de DJc <sup>32</sup> , le taux d'ensoleillement et le vent varient selon la localisation de la serre. Ainsi, ils ont une influence sur la consommation et la puissance à installer.
2	Période d'utilisation des serres	Le nombre de DJc, le taux d'ensoleillement et le vent varient selon la période de l'année. Ainsi, ils ont une influence sur la consommation et la puissance à installer.
3	Consignes de chauffe, de ventilation et de déshumidification	Le type de production et la période où elle est produite auront un impact au niveau des consommations et la puissance à installer.
4	Efficacité des systèmes de génération de chaleur	La source d'énergie utilisée influence indirectement la performance du système de génération de chaleur. Plus une source d'énergie est stable ou homogène lors de son utilisation dans le temps, plus le système de génération de chaleur sera performant. En effet, la stabilité et l'homogénéité de la source d'énergie simplifient la conception et l'opération du système de génération de chaleur. Du même coup, ceci favorise l'obtention d'une meilleure performance du système de génération de chaleur (exemples : échangeur de chaleur, combustion complète). L'électricité, le gaz naturel et le mazout léger sont des exemples de sources d'énergie qui sont stables et homogènes. De plus, leurs conceptions sont plus maîtrisées et normées, car ces sources sont utilisées depuis longtemps et à grande échelle. Le biogaz ou la biomasse le sont moins.
5	Efficacité des systèmes de distribution de chaleur	Une mauvaise conception du système de distribution de chaleur va limiter la performance du système de chauffe. Il n'est pas toujours évident de concevoir et d'évaluer la performance d'un système de distribution de chaleur. Les systèmes de distribution de chaleur à air chaud présentent une efficacité moindre que les systèmes de distribution de chaleur à eau chaude. Cependant, ces derniers sont plus dispendieux. Pour les systèmes à eau chaude, la conception d'un tel réseau est complexe. Il faut considérer la capacité d'alimentation, l'équilibrage du réseau, les pertes de charge minimales, les boucles de chauffe (gérées par un système de

<sup>32</sup> DJc = Degrés-jours de chauffage.

#	Facteur	Commentaires
		<p>contrôle adapté), l'isolation des tuyaux de chauffe, ainsi que le type et la dimension des vases d'expansion.<sup>33</sup></p> <p>L'utilisation s'il y a lieu d'un réservoir d'hydro-accumulation permet d'améliorer l'efficacité du système de chauffe et même de diminuer la puissance de chauffe à installer.</p> <p>L'utilisation si possible de plancher chauffant ou encore de tables chauffantes permet aussi de réduire les consommations d'énergie.</p>
6	L'enveloppe thermique	<p>Il faut chercher à optimiser l'isolation et l'étanchéité de la serre sans affecter la production.</p> <p>Le matériau de recouvrement a une influence sur l'étanchéité des serres. Les serres de verre sont moins étanches que les serres utilisant les films de polyéthylène.</p> <p>Le choix des matériaux de recouvrement et d'isolation va influencer les consommations d'énergie et la puissance de chauffe à installer.</p> <p>Au niveau des matériaux d'isolation, il faut s'assurer de les protéger des chocs mécaniques, des solvants, de l'eau et du soleil pour préserver l'efficacité de ceux-ci dans le temps.</p> <p>Les écrans thermiques horizontaux permettent de réduire les consommations d'énergie entre 20 % et 35 %. Il n'est pas recommandé de tenir compte des écrans thermiques pour réduire la puissance de chauffe à installer. Les écrans thermiques verticaux permettent de réduire les consommations d'énergie d'un 5 % à 10 % supplémentaire s'ils sont utilisés conjointement avec les écrans thermiques horizontaux. De plus, ceux-ci permettent de stabiliser le climat sur le pourtour de la serre lorsque les écrans horizontaux sont déployés.</p> <p>Toutes les ouvertures provenant des systèmes de ventilation / déshumidification ont un impact sur l'étanchéité de la serre et sur la performance des écrans thermiques.</p> <p>Une serre protégée du vent va consommer moins d'énergie de 5 % à 15 %.</p>
7	Système de contrôle/prise de données/gestion	<p>Un système de contrôle permet d'harmoniser les différents systèmes utilisés dans une serre. La prise de données peut aider l'entreprise maintenir les systèmes en place ou encore à optimiser la gestion des serres. Ceci a un impact sur la consommation d'énergie. Plus les systèmes sont complexes à opérer (exemples : système à biomasse), plus un système de contrôle pourra aider à maximiser la performance du système de chauffe.</p>
8	Opération des serres	<p>Les stratégies d'opération des serres peuvent influencer les consommations d'énergie et même les puissances à installer dans les serres. Voici quelques exemples de stratégies d'opération : choix de cultivars pouvant demander des consignes de chauffe plus basses, optimisation des superficies des serres, maximiser la luminosité de la serre, utiliser un système d'éclairage artificiel conçu de façon optimale.</p>

<sup>33</sup> Source : La boîte à outils des serriculteurs – Volume 2, numéro 3 de 4 (2012) : Les paramètres techniques de l'implantation d'un système de chauffage à la biomasse. Éditeur : SPSQ.

## B.02 Déterminer les opportunités d'économies d'énergie

### Avis

**Le lecteur est invité à lire le lexique situé à l'annexe C de ce document avant de poursuivre la lecture de la section B.02 dans le but d'avoir une définition commune de certains termes utilisés.**

Dans le but d'améliorer la performance énergétique d'une entreprise serricole, il est important de prendre conscience qu'une serre n'est pas un simple bâtiment, mais avant tout un outil de production.

L'analyse d'actions pour améliorer la performance énergétique doit englober tous les aspects de l'entreprise (aspects : humains, agronomiques, ingénieries, financiers et légaux), et tenir compte du plan d'affaires présent et futur de celle-ci. Cette analyse doit aider l'entreprise serricole à :

- Identifier ses besoins et certains paramètres techniques;
- Valider l'action en tenant compte du contexte d'opération;
- Valider l'action au niveau technico-économique;
- Prioriser ses actions.

En 2010 au Québec, il y avait 603 entreprises serricoles sur 710 qui avaient une superficie de production inférieure à 5 000 m<sup>2</sup>. Lorsque ces entreprises implantent une action, celles-ci ont souvent peu de ressources spécialisées liées à l'action qu'elles désirent implanter. Les actions de nature technique où les aspects d'ingénierie sont à l'avant-plan sont souvent très complexes à analyser.

De plus, les entreprises qui offrent leurs services aux entreprises serricoles maîtrisent rarement le domaine serricole au niveau des opérations et de la dynamique énergétique qu'on retrouve dans une serre. En effet, les solutions apportées sont souvent conçues pour des bâtiments normaux ou encore des procédés appliqués habituellement dans des domaines autres que le domaine serricole.

Dans ce contexte, il est fortement suggéré aux entreprises serricoles de se faire aider dans leurs démarches lors de l'implantation d'une action pour faire le pont entre les besoins de l'entreprise serricole et l'entreprise spécialisée qui offrent une technologie ou qui proposent une solution. Cependant, les professionnels d'expérience en serriculture qui peuvent offrir ce type d'aide au Québec sont peu nombreux (exemple : ingénieur en serriculture).

Pour évaluer la pertinence d'une action, l'entreprise peut commencer sa réflexion en analysant sa propre situation, en répondant aux deux questions suivantes :

- Combien ai-je consommé d'énergie pour produire une unité ou quantité donnée d'un produit?<sup>34</sup>
- Quel est le coût pour obtenir cette unité d'énergie?<sup>35</sup>

<sup>34</sup> L'entreprise pourra aussi intégrer les aspects qualitatifs obtenus lors de la production.

<sup>35</sup> Concernant le coût, celui-ci devra inclure tous les éléments qui ont permis de délivrer cette unité d'énergie pour contribuer à la production du produit. Un élément peut être un nouvel équipement, un nouveau procédé ou une nouvelle infrastructure. Le coût peut être réparti selon la durée de vie anticipée

Comme il a été mentionné au début de cette section, l'entreprise doit intégrer dans son analyse tous les processus de l'entreprise et non seulement un procédé, un système ou un élément technique en particulier. Pourquoi? Tout simplement parce que les résultats de cette analyse permettront d'évaluer les impacts positifs ou négatifs d'une action, et sa viabilité. De plus, l'entreprise pourra aussi apporter les correctifs nécessaires à une action pour atténuer ou éliminer les impacts négatifs ou encore maximiser les impacts positifs. À la limite, l'action envisagée pourrait même être rejetée par l'entreprise suite à l'analyse.

Pour améliorer la performance énergétique de l'entreprise, il est fortement suggéré de développer un plan d'action qui définira les objectifs de l'entreprise. Ce plan d'action devra impliquer la direction et les employés, mais aussi les moyens pour l'exécuter. Ce plan d'action peut être réalisé et structuré par le développement d'un système de management de l'énergie. La norme ISO-50001 peut servir de cadre à cet effet. La section B.02-1.0 présentera sommairement les principaux éléments qui la composent.

Un autre élément important, c'est d'être en mesure d'évaluer sa performance énergétique par rapport aux autres ou encore d'évaluer un procédé en particulier. La réalisation d'audits énergétiques est un incontournable. La section B.02-2 présentera les principaux concepts associés aux audits énergétiques.

Concernant l'amélioration de la performance énergétique au niveau de la chauffe, l'entreprise serricole doit avoir à l'esprit les deux affirmations suivantes :

- L'énergie qui coûte le moins cher est celle qui n'est pas consommée.
- Le système de chauffe le plus efficace pour l'entreprise est celui qui va amener chaque unité de chaleur prélevée d'une source d'énergie au bon endroit sur la plante, à la bonne quantité et au bon moment.

Pour y arriver, diverses techniques et méthodes peuvent être employées par l'entreprise serricole. Ainsi, la section B.02-3 présentera les principales mesures utilisées dans le domaine serricole pour améliorer la performance énergétique et leurs impacts possibles.

Pour terminer, la section B.02-4 abordera la question liée au changement de la source d'énergie pour la chauffe ou encore du système de chauffe pour une entreprise serricole.

---

et autres techniques administratives. L'entreprise doit tenir compte aussi de la quantité et la qualité d'un produit qu'un procédé pourra offrir, et des revenus nets qu'il pourra engendrer par rapport au procédé usuel.

### La prise de données

Le mesurage et le suivi sont essentiels pour analyser la performance de l'entreprise, mais aussi d'un nouveau procédé. Les moyens utilisés pour effectuer le mesurage et le suivi doivent permettre d'évaluer les indices de performance énergétique (IPÉ) choisie par l'entreprise. Les données doivent être valides et représentatives de l'élément mesuré ou encore de l'IPÉ. L'IPÉ choisi ne doit pas être sujet à diverses interprétations.

La prise de données doit être encadrée dans un plan de mesurage. Ceci est un élément essentiel pour s'assurer que les paramètres choisis et les données recueillies permettront à l'entreprise d'évaluer avec justesse la performance énergétique d'une entreprise, d'un procédé, mais aussi le retour sur le capital investi (RCI) qui découlerait d'une mesure. Ces paramètres et ces données recueillies doivent servir à évaluer les indicateurs de performance énergétique (IPÉ) identifiés par l'entreprise.

Ces paramètres et ces données devront être validés dans le temps. Ainsi, un paramètre utilisé pourra changer si le procédé change ou encore sa fonction. Les données provenant d'équipements de mesures devront aussi être validées périodiquement (exemples : validation des données lues, calibration).

Plus les systèmes sont complexes ou encore dispendieux à implanter ou à opérer, plus l'entreprise devra apporter une attention aux paramètres choisis et aux données recueillies pour assurer de l'efficacité d'un tel système dans le temps. L'aide de professionnels d'expérience en énergie et du procédé est souhaitable.

Il existe différentes normes et procédures en lien avec l'élaboration d'un plan de mesurage. Les paramètres choisis et les données recueillies devront tenir compte de(s) :

- caractéristiques des opérations;
- conditions d'opérations;
- équipements de mesure à installer ou encore de systèmes ordinés;
- mesures ponctuelles ou non pour un procédé donné;
- la fréquence de la prise de données;
- la précision des appareils et de la validation des données dans le temps.

### **B.02-1.0 : Systèmes de management de l'énergie**

Pour améliorer la performance énergétique d'une entreprise, celle-ci doit voir ce processus comme une démarche d'amélioration continue<sup>36</sup>. Ainsi, l'entreprise ne doit pas seulement se concentrer sur les aspects techniques, mais aussi tenir compte des aspects liés à la gestion. Depuis juin 2011, l'Organisation internationale de normalisation a publié la norme ISO 50001 - Systèmes de management de l'énergie. L'entreprise serricole et sa direction pourront s'en inspirer pour développer leur propre système de management de l'énergie.

---

<sup>36</sup> L'application d'une démarche d'amélioration continue est un processus dynamique et proactif.

Il est important de mentionner que l'application d'une norme ISO par une entreprise doit être faite pour l'aider à se structurer et à aller plus loin dans sa démarche d'amélioration continue. Aussi, il est important que l'entreprise contrôle l'application de la norme et non le contraire. Une entreprise peut se faire auditer pour obtenir une certification, mais ceci n'est pas une obligation.

### **B.02-1.1 : ISO 50001 - Systèmes de management de l'énergie**

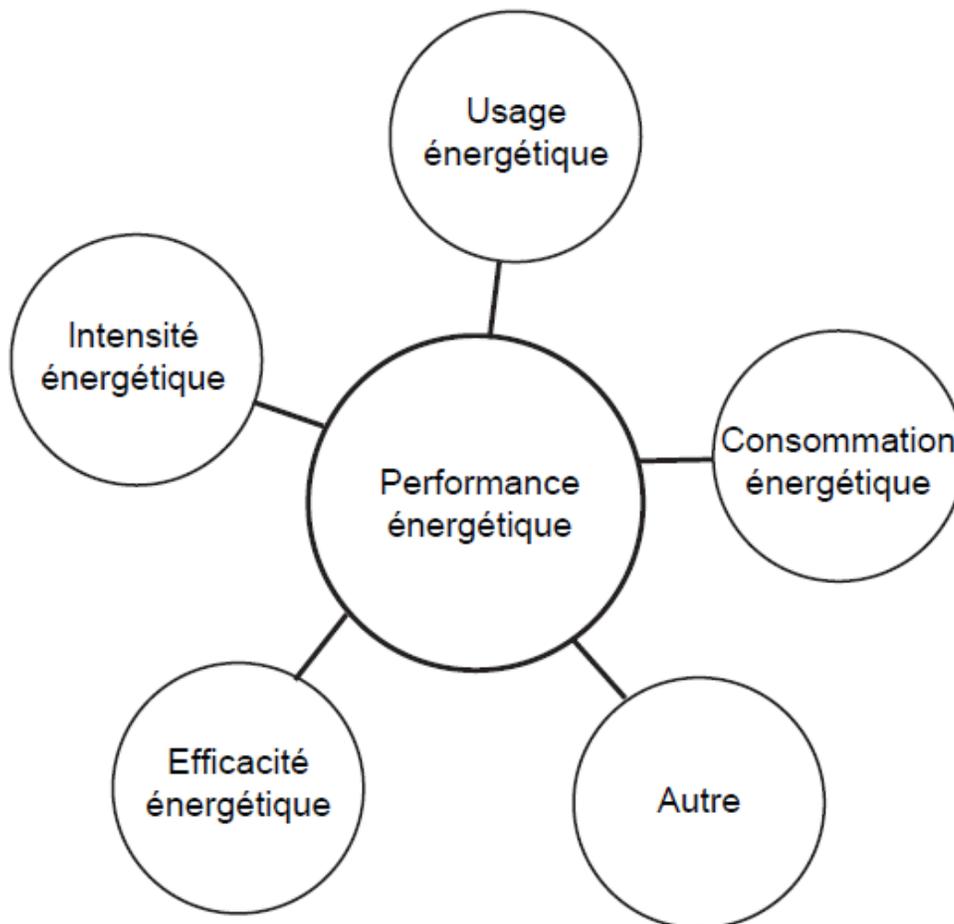
Au Canada, c'est « Association canadienne de normalisation (CSA) » qui publie la norme CAN/CSA-ISO 50001:11 – Juin 2011 (2). Le but est de permettre aux organismes<sup>37</sup> d'établir les systèmes et processus nécessaires à l'amélioration de la performance énergétique, y compris l'efficacité, l'usage et la consommation énergétiques (ligne de conduite; voir la [Figure 4](#)).

Il est important de mentionner que la norme est fondée sur le principe selon lequel l'organisme va régulièrement revoir et évaluer son système de management de l'énergie afin d'identifier les opportunités d'amélioration et leur mise en œuvre. C'est un processus d'amélioration continue (voir la [Figure 5](#)). Les textes suivants en italique proviennent de la norme CAN/CSA-ISO 50001:11 – Juin 2011 (2) ou encore d'un résumé.

---

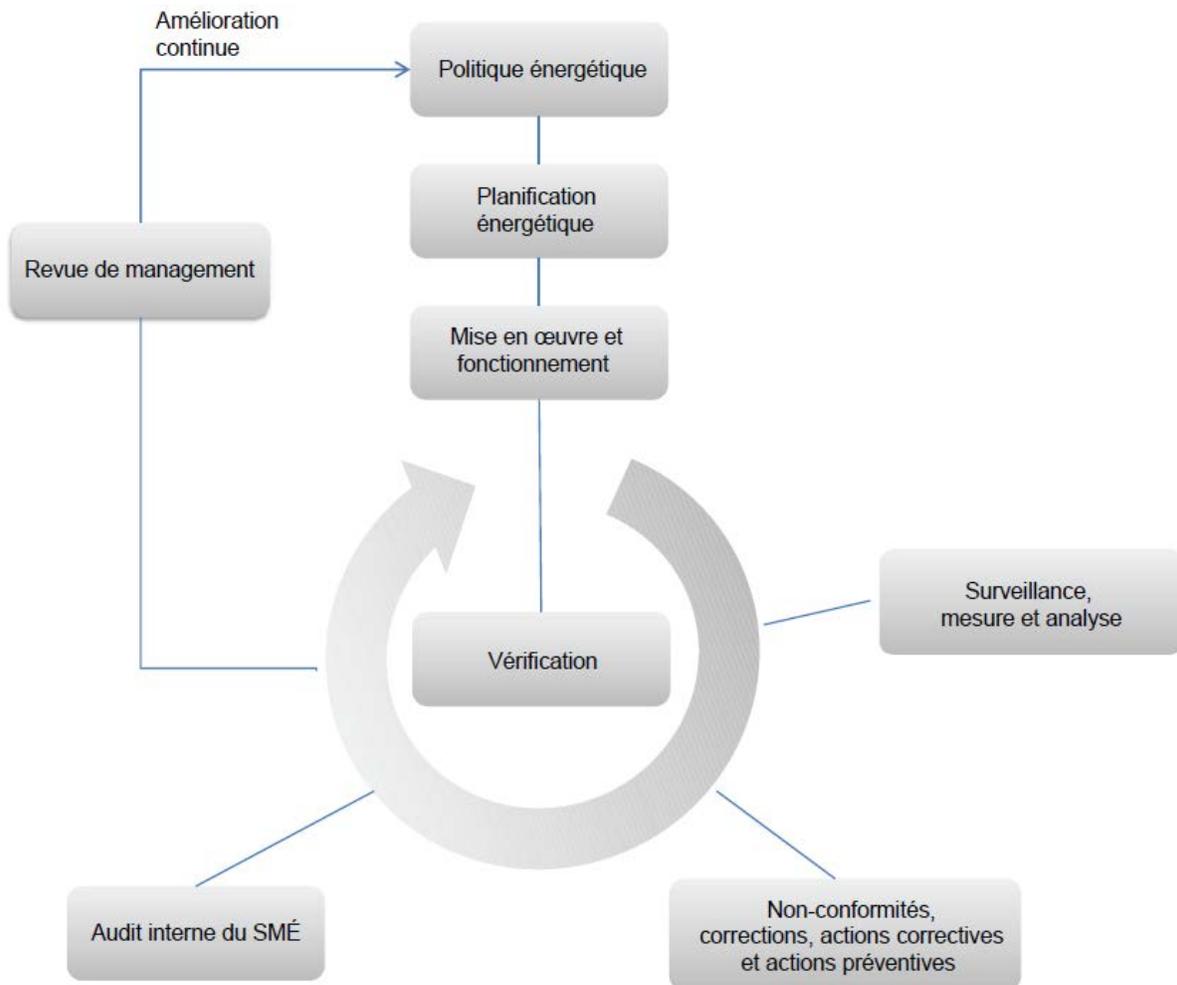
<sup>37</sup> L'entreprise serricole (voir le lexique à l'annexe 1).

Figure 4 : Représentation conceptuelle de la performance énergétique



Source : © Association canadienne de normalisation (CSA) – Norme CAN/CSA-ISO 50001:11 (Juin 2011) – Annexe A, p. 14

Figure 5 : Modèle de système de management de l'énergie (SMÉ) selon la présente Norme internationale



Source : © Association canadienne de normalisation (CSA) – Norme CAN/CSA-ISO 50001:11 (Juin 2011) – Introduction, p. vi

### Clientèle visée

*« La norme s'adresse aux organismes de tout type et de toute taille, quelles que soient les conditions géographiques, culturelles et sociales. Le succès de sa mise en œuvre dépend de l'engagement de chaque niveau hiérarchique et fonction de l'organisme et, en particulier, de la direction. »*

Source : Introduction p. « v »

L'entreprise doit bien comprendre la portée de la norme pour être en mesure de l'intégrer dans la culture de l'entreprise et pour répondre adéquatement aux questions des employés. Même si les seuls employés de l'entreprise serricole sont les propriétaires, ceux-ci peuvent s'inspirer de la norme pour développer leur propre approche envers les questions liées au management de l'énergie.

Il est important pour une entreprise de prendre conscience comment l'énergie est utilisée, mais aussi comment l'entreprise peut améliorer ses procédés pour optimiser l'utilisation de l'énergie.

### Caractéristiques

*« La norme spécifie les exigences qui s'appliquent à un système de management de l'énergie (SMÉ) permettant à un organisme d'élaborer et d'appliquer une politique énergétique, et d'établir des objectifs, des cibles et des plans d'actions qui tiennent compte des exigences légales et des informations afférentes aux usages énergétiques significatifs »*

Source : Introduction p. « v »

Avant de réaliser des actions, l'entreprise doit avoir une vision globale de leur situation au niveau énergétique. Trop souvent, les entreprises vont étudier avant tout les aspects techniques.

### Méthodologie

*« La norme se fonde sur la méthodologie d'amélioration continue dite PDCA (Plan-Do-Check-Act, Planifier-Faire-Vérifier-Agir)<sup>38</sup>. Il est pleinement compatible avec les autres normes ISO-9001 (systèmes de management de la qualité), ISO-14001 (Systèmes de management environnemental) et ISO-22000 (systèmes de management de la sécurité des denrées alimentaires).*

*Planifier : procéder à la revue énergétique et définir la consommation de référence, les indicateurs de performance énergétique (IPÉ), les objectifs, les cibles et les plans d'actions nécessaires pour obtenir des résultats qui permettront d'améliorer la performance énergétique en cohérence avec la politique énergétique de l'organisme.*

*Faire : appliquer les plans d'actions de management de l'énergie.*

*Vérifier : surveiller et mesurer les processus et les caractéristiques essentielles des opérations qui déterminent la performance énergétique au regard de la politique et des objectifs énergétiques, et rendre compte des résultats.*

*Agir : mener à bien des actions pour améliorer en permanence la performance énergétique et le SMÉ.*

---

<sup>38</sup> Roue de Deming.

Source : Introduction pp. « v, vi »

Les normes ISO aident les entreprises à développer une démarche de management. Les normes vont dire quoi faire, mais ils ne diront pas comment le faire. L'entreprise doit utiliser les normes ISO comme un outil de management et non un outil d'amélioration continue.

Il est recommandé pour les entreprises qui ne sont pas familières avec les normes de la famille ISO d'être supporté dans leur démarche par des professionnelles d'expérience.

#### Bénéfices globaux

*« L'application de cette norme contribue à :*

- *un usage plus efficace des sources d'énergie disponibles;*
- *une meilleure compétitivité;*
- *une réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) et autres impacts environnementaux associés. »*

Source : Introduction pp. « vi »

Comme il a été mentionné au début la section 2.4, la norme va favoriser la réduction de la consommation d'énergie pour produire une unité ou quantité donnée d'un produit, tout en tenant compte du coût pour obtenir cette unité d'énergie.

Il est prouvé que les entreprises qui de pair vont utiliser adéquatement les outils de la qualité et les normes ISO, seront souvent les entreprises les plus performantes dans leur domaine.

#### Élaboration d'un plan d'action

*« L'élaboration du plan d'action doit tenir compte des éléments suivants :*

- *l'affectation des responsabilités;*
- *les moyens et délais pour atteindre chaque cible;*
- *la description de la méthode par laquelle l'amélioration de la performance énergétique doit être vérifiée;*
- *la description de la méthode de vérification des résultats. »*

Source : 4.4.6 Objectifs et cibles énergétiques, et plans d'actions de management de l'énergie pp. 8-9

Les méthodes utilisées pour vérifier l'amélioration de la performance énergétique et les résultats sont essentielles dans une démarche d'amélioration continue. Celles-ci doivent être développées de façon à ce que les résultats ne puissent être interprétés de différentes façons. L'assistance de professionnels d'expérience dans le développement des méthodes est souhaitée.

### Qualification

*« L'organisme<sup>39</sup> doit s'assurer que toute personne travaillant pour ou au nom de l'organisme, en rapport avec les usages énergétiques significatifs, est compétente, à savoir qu'elle dispose de la qualification, de la formation, des aptitudes ou de l'expérience adéquates. »*

Source : 4.5.2 Compétence, formation et sensibilisation p. 9

Cet élément est essentiel pour la réussite d'un tel projet de façon à intégrer les différents processus de l'entreprise.

Ressources nécessaires à la réalisation d'un SMÉ<sup>40</sup>

*« Pour être en mesure de réaliser avec succès un système de management de l'énergie (SMÉ), l'organisme devra fournir aux responsables et participants diverses ressources : moyens humains, compétences spécialisées, ressources technologiques et financières. »*

Source : 4.2 Responsabilité de la direction (section 4.2.1 – Direction) p. 6

Il faut ainsi identifier et planifier les ressources (interne et externe) pour développer, implanter et opérer le système de management.

### **B.02-1.2 : ISO 50001 - Planification énergétique**

La **Figure 5** présente un modèle de système de management de l'énergie (SMÉ). Sans négliger les différents items présentés, il est important de développer l'item lié à la planification énergétique, car celle-ci va dicter la mise en œuvre et le fonctionnement des diverses actions associées au SMÉ.

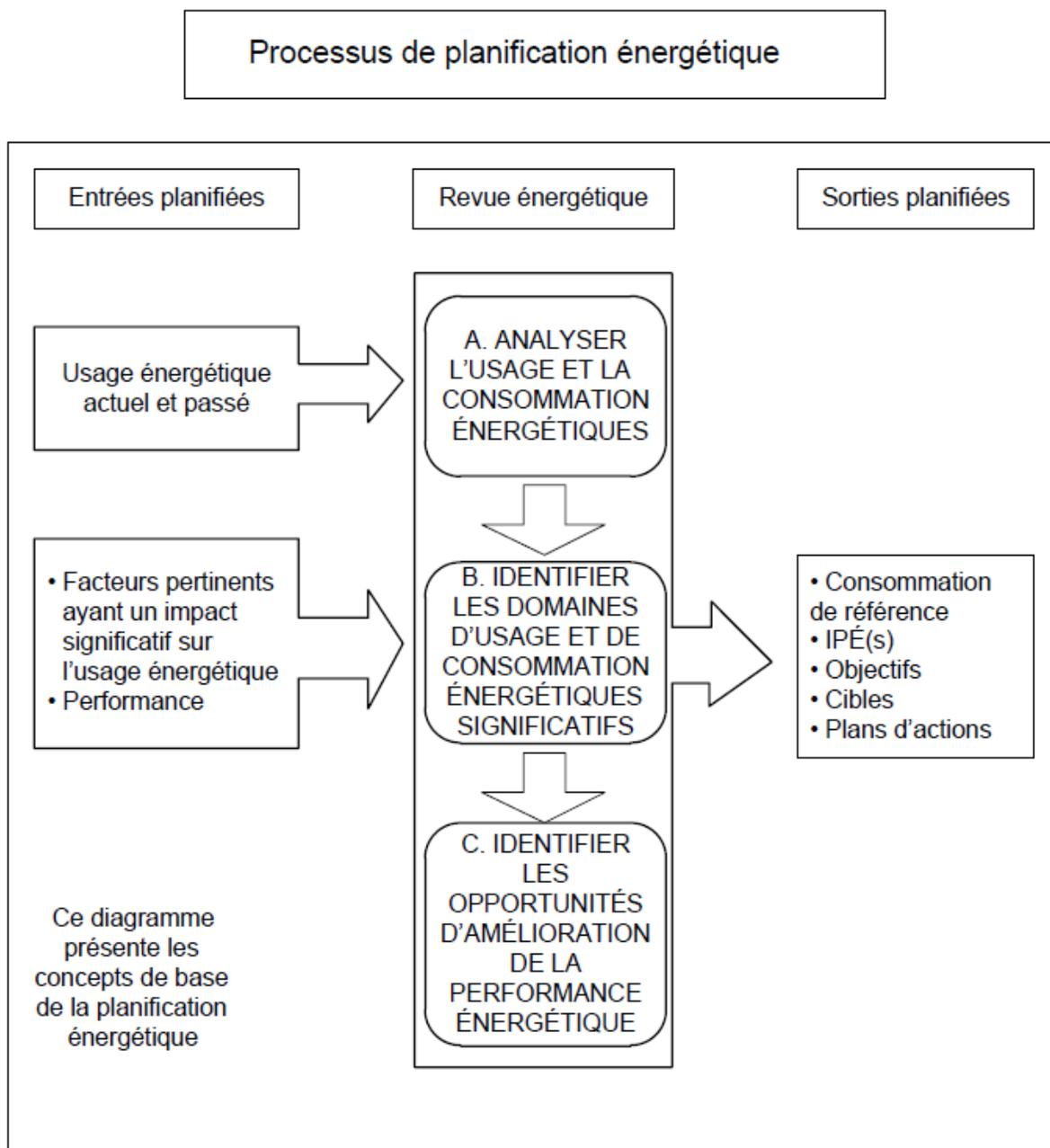
La **Figure 6** présente un diagramme conceptuel du processus de planification énergétique. Il est important de mentionner que la **Figure 6** ne fait pas partie de la norme, mais à titre d'aide pour mieux comprendre le processus de planification énergétique. La Norme mentionne ceci : *« Les informations contenues dans le diagramme de planification énergétique ne sont pas exhaustives et d'autres éléments particuliers à l'organisme ou aux circonstances peuvent s'y ajouter »*. De ce schéma, la revue énergétique et la consommation de référence sont deux éléments où la question des audits y est présentée.

---

<sup>39</sup> Personne physique ou morale qui possède, exploite, utilise ou gère l'objet ou les objets audités (3).

<sup>40</sup> SMÉ : système de management de l'énergie.

Figure 6 : Diagramme conceptuel du processus de planification énergétique



Source : Norme CAN/CSA-ISO 50001:11 (Juin 2011) – Annexe A, p. 16

## Revue énergétique

*« L'actualisation de la revue énergétique signifie la mise à jour des informations relatives à l'analyse, à la détermination du caractère significatif et à la détermination des opportunités d'amélioration de la performance énergétique. »*

*Un audit ou une évaluation énergétique se compose d'une revue détaillée de la performance énergétique d'un organisme, d'un processus, ou des deux. L'audit ou l'évaluation se fonde en général sur la mesure et l'observation appropriées de la performance énergétique réelle. Les éléments de sortie de l'audit comprennent en général des informations sur la consommation et la performance actuelles, et peuvent être accompagnés d'une série de recommandations classées visant une amélioration en termes de performance énergétique. Les audits énergétiques sont planifiés et conduits comme un des moyens pour identifier et hiérarchiser les opportunités d'amélioration de la performance énergétique. »*

Source : L'actualisation de la revue énergétique pp. 17-18

Il y a deux éléments à retenir. D'une part, l'entreprise doit analyser périodiquement sa situation en conformité avec son plan d'action. D'autre part, la réalisation d'audit énergétique est essentielle. Les audits énergétiques seront traités dans la section 2.4.2.

## Consommation de référence

*« Une période pertinente veut dire que l'organisme doit tenir compte des exigences réglementaires ou des variables qui affectent son usage et sa consommation énergétiques. Les variables peuvent inclure les conditions météorologiques, les saisons, les cycles d'activité économique et autres conditions. »*

*La consommation énergétique de référence est suivie et enregistrée pour permettre à l'organisme de déterminer la fréquence de mise à jour de ses enregistrements. Les ajustements de la consommation de référence sont aussi considérés comme une mise à jour et les exigences sont définies dans la présente Norme internationale. »*

Source : A.4.4 Consommation de référence p. 17 :

Le choix et la prise de données doivent se faire de façon rigoureuse. De plus, l'entreprise doit tenir compte du contexte d'opération et des limites des systèmes d'acquisition de données ou encore des instruments de mesure. Il est recommandé de développer un plan de surveillance conforme au « Protocole International de Mesure et Vérification du Rendement (PIMVR) »<sup>41</sup>.

---

<sup>41</sup> Protocole permettant l'élaboration d'un plan normalisé de mesurage et de vérification (M&V) des économies d'énergie ou d'eau d'un projet. Le PIMVR a été développé par l'Efficiency Valuation Organization (EVO), une organisation internationale à but non lucratif, dans le but d'accroître les investissements réalisés dans les domaines de l'efficacité énergétique et des économies d'eau, la gestion des appels de puissance et les projets d'énergies renouvelables ([www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)).

### **B.02-1.3 : Discussions**

Le système de management de l'énergie (SMÉ) sert avant tout à structurer l'entreprise dans son processus d'amélioration de la performance énergétique en intégrant les autres aspects de l'entreprise. L'aspect technique d'une action devra être évalué davantage vers la fin du processus d'amélioration de la performance énergétique.

### **B.02-2 : Audits énergétiques**

Comme il est mentionné dans la section **B.02 Déterminer les opportunités d'économies d'énergie**, les audits font partie du processus pour améliorer la performance énergétique de l'entreprise. Les audits sont notre référence pour dicter éventuellement notre choix technique s'ils sont encadrés dans un système de management de l'énergie tel que décrit dans la section **B.02-1.0 : Systèmes de management de l'énergie**. Un audit énergétique n'est pas un audit technique. Cependant, un audit énergétique peut amener à réaliser des audits techniques.

Présentement, il n'existe pas de normes au Canada, ni au Québec en lien aux audits énergétiques. En Europe, il existe une norme sur les audits énergétiques depuis septembre 2012. Aux États-Unis, l'ASHRAE<sup>42</sup> a publié un document lié aux audits énergétiques pour les bâtiments.

Cette section va présenter les principales caractéristiques associées au document publié par l'ASHRAE et à la norme française sur les audits énergétiques. Ceci va permettre au lecteur de mieux comprendre en quoi consiste un audit énergétique réalisé selon les règles de l'art.

#### **B.02-2.1 : Audit énergétique ou Analyse énergétique**

Cette section présente un aperçu des termes utilisés dans le milieu francophone et anglophone.

ASHRAE utilise les termes « energy audit ou audit énergétique » et « energy assessment ou évaluation énergétique ». ASHRAE préfère utiliser « energy assessment », car le mot « audit » peut avoir une signification négative contrairement au mot « assessment ». En effet, le mot « audit » est souvent associé à une enquête sur la gestion des entreprises ou les impôts par des inspecteurs du gouvernement dont le but est de découvrir des anomalies. Les anomalies peuvent amener à des mesures coercitives (exemples : amendes, mesures disciplinaires).

Le site Internet de « Office québécois de la langue française (OQLF) » préfère utiliser le terme « analyse énergétique », car le terme « audit énergétique » est critiqué par les linguistes. La **Figure 7 : Définition du terme « analyse énergétique »** présente la définition du mot « analyse énergétique » et du terme associé « audit énergétique » telle que présentée sur le site Internet de l'OQLF.

Cependant, le terme « audit énergétique » est employé largement dans le milieu francophone par les gens œuvrant dans le domaine énergétique. Ainsi, le Syndicat des Producteurs en Serre du Québec (SPSQ) et la norme française « NF EN 16247 – Audits énergétiques » utilisent ce terme.

---

<sup>42</sup> The American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers

Figure 7 : Définition du terme « analyse énergétique »

☆☆☆☆☆  
[Anglais \[EN\]](#) ↓

## analyse énergétique

**Domaine** énergie > conservation de l'énergie

**Auteur** Ministère des Ressources naturelles (Québec), 1996

---

**Définition**  
Évaluation de l'efficacité des divers composants d'un système ou d'un procédé industriel, faite à partir d'un bilan énergétique, effectuée dans le but de recommander des moyens pour améliorer l'efficacité énergétique, et qui permet également la définition des caractéristiques techniques des systèmes ou des équipements, de la consommation énergétique et de sa répartition. [ ]

**Notes**  
En anglais, on utilise généralement le terme « energy audit » pour les systèmes déjà existants et « energy analysis » pour les nouveaux systèmes. Cette analyse peut être effectuée au moment de la conception, mais également sur des systèmes ou des procédés déjà existants.

**Terme**  
analyse énergétique n. f.

**Terme associé**  
audit énergétique  
critiqué

---

**Anglais** ↑

**Auteur** Ministère des Ressources naturelles (Québec), 1996

---

**Termes**  
energy audit  
energy analysis

◀ 1 / 1 ▶

Source : <http://gdt.oqlf.gouv.qc.ca> (site Internet visité le 14 mai 2013)

## **B.02-2.2 : Normes françaises sur les audits énergétiques**

L'AFNOR<sup>43</sup> a publié en septembre 2012 la norme sur les audits énergétiques. La norme sera présentée brièvement dans cette section et elle est associée au document suivant : *1NF EN 16247-1 – Audits énergétiques : Partie 1 : Exigences générales*. La Norme européenne EN 16247-1:2012 a le statut d'une norme française (3).

Le contenu de ce qui suit provient de la norme. L'idée est de permettre au lecteur d'identifier les principaux éléments associés à la réalisation d'un audit énergétique.

### Généralité

Pour un organisme désireux d'améliorer son efficacité énergétique, de réduire sa consommation énergétique et de créer des bénéfices connexes en matière environnementale, quels que soient sa taille ou son type, un audit énergétique constitue une étape importante.

### Application de la Norme

La Norme s'applique aux organismes commerciaux, industriels, du secteur résidentiel et du secteur public, à l'exclusion des maisons individuelles privées.

### Domaine d'application

La présente Norme européenne spécifie les exigences, la méthodologie habituelle et les livrables d'un audit énergétique. Elle s'applique à tous les types d'établissements et d'organismes, à toutes les formes d'énergie et à tous les usages énergétiques, à l'exclusion des maisons individuelles privées.

### Exigences de qualité

Auditeur énergétique – l'auditeur énergétique doit avoir les qualifications (conformément aux lignes directrices et aux recommandations locales) et l'expérience adaptées au type de travail entrepris, ainsi qu'au domaine d'application, à l'objectif et au degré d'approfondissement convenus.

Processus d'audit énergétique – Le processus d'audit énergétique doit être :

- a) approprié au domaine d'application, aux objectifs et au degré d'approfondissement pertinents;
- b) exhaustif : afin de définir l'objet audité et l'organisme;
- c) représentatif : en vue de recueillir des données fiables et pertinentes;
- d) traçable : pour permettre de remonter à l'origine des données et d'en tracer le traitement;

---

<sup>43</sup> « Association française de normalisation (AFNOR) » est l'organisme officiel français de normalisation, membre de l'Organisation internationale de normalisation (ISO) auprès de laquelle elle représente la France. Le « Conseil canadien des normes (CNN) – Standards Council of Canada (SCC) » joue un rôle similaire tout en accréditant les organismes qui élaborent les normes au Canada (exemples : CSA, ASTM International, Bureau de normalisation du Québec, ULC, ONGC, UL).

- e) utile : pour inclure une analyse coût-efficacité des opportunités d'économies énergétiques identifiées;
- f) vérifiable : pour permettre à l'organisme de surveiller que les objectifs correspondants aux opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique mise en œuvre sont atteints.

#### Réunion de démarrage

L'objet de la réunion de démarrage est d'informer l'ensemble des parties intéressées sur les objectifs, le domaine d'application, le périmètre et le degré d'approfondissement de l'audit énergétique, et de convenir des dispositions pratiques pour la réalisation de l'audit énergétique.

#### Recueil de données

En collaboration avec l'organisme, l'auditeur énergétique doit recueillir ce qui suit (si disponible) :

- a) la liste des équipements, processus et systèmes consommateurs d'énergie;
- b) les caractéristiques détaillées de l'objet ou des objets à auditer, y compris les facteurs d'ajustement connus, et la manière dont l'organisme estime qu'ils influent sur la consommation énergétique;
- c) les données historiques ;
  - i. la consommation énergétique;
  - ii. les facteurs d'ajustement;
  - iii. les mesures associées correspondantes;
- d) l'historique d'exploitation et les antécédents qui auraient pu affecter la consommation énergétique sur la période couverte par les données recueillies;
- e) les documents relatifs à la conception, à l'exploitation et à la maintenance;
- f) les audits énergétiques ou les études antérieures relatives à l'énergie et à l'efficacité énergétique;
- g) les tarifs actuels et prévus des énergies, ou les tarifs de référence à utiliser afin de protéger la confidentialité commerciale des clients;
- h) les autres données économiques pertinentes;
- i) l'état du système de management de l'énergie.

#### Analyse effectuée par l'auditeur

L'auditeur énergétique doit :

- établir la situation existante de la performance énergétique de l'objet audité;
- identifier les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique;
- classer les actions d'économie d'énergie en fonction des critères convenus.

#### Contenu du rapport

Le contenu exact du rapport doit correspondre au domaine d'application, à l'objectif et au degré d'approfondissement de l'audit énergétique. Le rapport d'audit énergétique doit contenir :

- a. Le document de synthèse :
  - i. la hiérarchisation des opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique;
  - ii. une proposition de programme de mise en œuvre.

- b. L'historique :
  - i. les informations générales relatives à l'organisme audité, à l'auditeur énergétique et à la méthodologie afférente à l'audit énergétique;
  - ii. le contexte de l'audit énergétique;
  - iii. la description de l'objet ou des objets audités;
  - iv. les normes et les règlements pertinents.
- c. Audit énergétique :
  - i. la description, le domaine d'application, l'objectif et le degré d'approfondissement de l'audit énergétique, le calendrier et le périmètre;
  - ii. des informations relatives au recueil des données;
    - 1. la mise en place des appareils de mesure (situation actuelle);
    - 2. une indication stipulant quelles données ont été utilisées (ainsi que ce qui est mesuré et ce qui est estimé);
    - 3. une copie des principales données utilisées et des certificats d'étalonnage, le cas échéant.
  - iii. l'analyse de la consommation énergétique;
  - iv. les critères de hiérarchisation des mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique.
- d. Les opportunités d'amélioration de l'efficacité énergétique :
  - i. les propositions d'actions et de recommandations, le plan et le calendrier de mise en œuvre proposés;
  - ii. les hypothèses utilisées pour le calcul des économies et le niveau de précision des recommandations;
  - iii. des informations concernant les aides et subventions applicables;
  - iv. l'analyse économique appropriée;
  - v. les interactions potentielles avec d'autres propositions de recommandations;
  - vi. les méthodes de mesure et de vérification à utiliser pour évaluer après leur mise en œuvre les recommandations d'opportunités d'amélioration;
- e. Les conclusions.

#### Réunion de clôture

La réunion de clôture, l'auditeur énergétique doit :

- a. remettre le rapport de l'audit énergétique;
- b. présenter les résultats de l'audit énergétique de manière à faciliter les prises de décision de l'organisme;
- c. être en mesure d'expliquer les résultats.

Le besoin d'un suivi doit être discuté et une conclusion doit être prononcée.

### **B.02-2.3 : ASHREA : Procédures for Commercial Building Energy Audits Second Edition (4)**

Ce document n'est pas une norme. Il a été écrit avant tout pour les professionnels qui réalisent des audits énergétiques pour les bâtiments commerciaux et les institutions<sup>44</sup>.

Les objectifs de ce document sont de :

- définir différents niveaux d'audit énergétique<sup>45</sup>;
- fournir un guide de référence pour les propriétaires d'immeubles, les gestionnaires, les entités gouvernementales et autres consommateurs illustrant les meilleures pratiques pour la conduite d'audit énergétique et les livrables associés;
- servir de guide d'introduction aux meilleures pratiques pour les auditeurs.

#### **B.02-2.3.1 : Différents niveaux d'audit énergétique (3 levels)**

L'audit énergétique décrit dans ce document présente trois différents niveaux (3 levels). Les tâches associées à ces niveaux sont présentées au [Tableau 12](#). Plus le niveau est élevé, plus l'analyse sera complète au niveau technico-économique.

---

<sup>44</sup> NDL : les éléments décrits dans ce document ou certains pourraient être adaptés et bonifiés pour d'autres types de bâtiments (exemples : multilogements, bâtiments industriels, serres).

<sup>45</sup> Dans la seconde édition, il y a trois niveaux (3 levels).

Tableau 12 : Tableau résumant les tâches à accomplir pour les niveaux 1, 2 et 3 (anglais : level 1, 2, 3)<sup>46</sup>

Process	Level		
	1	2	3
Conduct PEA	•	•	•
Conduct walk-through survey	•	•	•
Identify low-cost/no-cost recommendations	•	•	•
Identify capital improvements	•	•	•
Review mechanical and electrical (M&E) design and condition and O&M practices		•	•
Measure key parameters		•	•
Analyze capital measures (savings and costs, including interactions)		•	•
Meet with owner/operators to review recommendations		•	•
Conduct additional testing/monitoring			•
Perform detailed system modeling			•
Provide schematic layouts for recommendations			•
Report	Level		
	1	2	3
Estimate savings from utility rate change	•	•	•
Compare EUI to EUIs of similar sites	•	•	•
Summarize utility data	•	•	•
Estimate savings if EUI were to meet target	•	•	•
Estimate low-cost/no-cost savings		•	•
Calculate detailed end-use breakdown		•	•
Estimate capital project costs and savings		•	•
Complete building description and equipment inventory		•	•
Document general description of considered measures		•	•
Recommend measurement and verification (M&V) method		•	•
Perform financial analysis of recommended EEMs		•	•
Write detailed description of recommended measures			•
Compile detailed EEM cost estimates			•

Source : © 2004-2001 ASHRAE – Procedures for Commercial Building Energy Audits – Second Edition (4)

<sup>46</sup> Acronymes utilisés dans le tableau 2.4-T01 – PEA : Preliminary Energy-Use Analysis; O&M : Operation and Maintenance; EUI : Energy Utilization Index; EEM : Energy Efficiency Measure; M&V : Measurement and Verification

Le **Tableau 13** présente les éléments décrits dans ce document dont une entreprise devra tenir compte lorsqu'elle désire engager un professionnel dans le but de réaliser un audit énergétique.

**Tableau 13 : Éléments à tenir compte lors de la recherche d'un auditeur selon ASHREA : Procedures for Commercial Building Energy Audits – Second Edition**

### HOW TO HIRE AN ENERGY AUDITOR

1. Determine what type of audit you are likely to need: Level 1, 2, or 3.
2. Determine if the energy auditor will play a role in the other phases of the project, e.g., contractor procurement, developing performance specifications, etc.
3. Use either sole-source contracting or competitive bidding.
  - Using sole-source contracting can result in a more quickly executed contract, but getting competitive bids may result in a more competitive price.
4. Look for the following in a good auditing firm:
  - That proposals include references, work samples, and resumes of key staff members.
  - That auditor staff have professional certifications (see the list of available certifications in the section Energy Assessment Provider)—consider whether you need general or specialized auditing experience, and consider firms with multidisciplinary competence for comprehensive audits or specialized expertise for targeted audits that involve specialized systems.
  - That the auditor is vendor-neutral to avoid bias and/or conflicts of interest.

Source : © 2004-2001 ASHRAE – Procedures for Commercial Building Energy Audits – Second Edition (4)

Pour les entreprises serricoles, il est important de choisir des professionnels qui auront de l'expérience dans le domaine serricole et neutre. L'entreprise serricole peut contacter le Syndicat des Producteurs en Serre du Québec (SPSQ). Ce dernier pourra à titre d'indicatif seulement suggérer certaines entreprises et personnes-ressources.

Il est à noter que l'expérience dans le domaine serricole est très importante, car comme il a été mentionné au début de cette section, une serre n'est pas seulement un bâtiment, mais un outil de production. Aussi, les recommandations de l'auditeur doivent intégrer dans la mesure du possible les autres aspects de l'entreprise (aspects : humains, agronomiques, ingénieries, financiers et légaux) et tenir compte du plan d'affaires présent et futur de l'entreprise<sup>47</sup>. Le support de conseillers en agronomie et en gestion agricole est recommandé pour intégrer adéquatement les informations, les pistes de solution ou encore les actions qui seront contenues dans le rapport de l'audit énergétique.

---

<sup>47</sup> Ceci est en fonction du niveau de précision recherché par l'entreprise serricole et de l'entente contractuelle avec la firme ou encore l'auditeur.

### **B.02-3 : Principales mesures utilisées dans le domaine serricole pour améliorer la performance énergétique et leurs impacts possibles.**

Le tableau suivant présente les principales actions qu'une entreprise peut réaliser pour optimiser sa performance énergétique. Comme il a été mentionné à divers endroits dans cette section, l'entreprise doit intégrer dans la mesure du possible les autres aspects de l'entreprise (aspects : humains, agronomiques, ingénieries, financiers et légaux) et tenir compte du plan d'affaires présent et futur de l'entreprise.

La section **B.02-3.1 : Étude de cas : nouveau système de génération de chaleur** présente un cas réel qui démontre l'importance de bien analyser les actions qui se présentent à une entreprise tout en considérant les autres aspects de l'entreprise.

La section **B.02-3.2 : Techniques et méthodologies utilisées pour réduire les coûts d'énergie** présente des techniques et des méthodologies utilisées dans le domaine serricole qui offrent un potentiel d'économie d'énergie. L'entreprise serricole qui désirerait implanter une de ces techniques ou méthodologies devra identifier leur viabilité dans le contexte où l'entreprise opère.

#### **B.02-3.1 : Étude de cas : nouveau système de génération de chaleur**

L'exemple qui suit provient d'un cas réel que le CIDES a traité il y a quelques années qui démontre l'importance d'englober les autres aspects de l'entreprise lorsqu'on analyse un projet.

##### Contexte

Une entreprise serricole dans les Laurentides utilisait un système de chauffe à eau chaude utilisant des bûches de bois pour générer la chaleur. L'utilisation de bûches de bois demandait beaucoup de temps à l'entreprise pour maintenir leur réserve de bois de façon adéquate, mais aussi pour l'opérer.

Les propriétaires au nombre de deux étaient les seuls employés à travailler à temps plein et à opérer le système de chauffe. Les propriétaires envisageaient d'exploiter l'entreprise pour une dizaine d'années au moment de la rencontre. L'entreprise n'avait pas de relève et le marché était saturé. La région opérait plusieurs scieries, mais elles avaient fermé leurs portes dans la dernière année. De plus, la réouverture des scieries n'était pas envisagée.

##### Opportunité d'affaires?

L'entreprise serricole s'est fait offrir par une autre entreprise un nouveau système de génération de chaleur à la biomasse, mais fonctionnant cette fois-ci à la granule de bois. L'idée des propriétaires était que ce nouveau système simplifierait de beaucoup l'utilisation et l'opération du système de chauffe par rapport au système existant vu la nature de la biomasse (bûches versus granules), tout en générant des économies d'énergie appréciables. En effet, l'efficacité du nouveau système de chauffe (génération et distribution de chaleur) était estimée à 70 %. De plus, les propriétaires savaient que leur système de chauffe existant était peu performant.

## Analyses

L'entreprise a mandaté le CIDES pour analyser sommairement le projet. Pour y répondre, le CIDES a réalisé un audit énergétique en plus de développer différents scénarios pour évaluer l'option qui offrirait la plus grande réduction de coût de la chauffe en fonction de leur besoin.

Les analyses des différents scénarios tiennent compte : des périodes d'opération des serres, des superficies utilisées dans le temps, des consignes de chauffe, du type de production, des caractéristiques techniques des serres et des systèmes en place ou encore envisagés.

Lors de l'analyse, l'efficacité du système de chauffe existant a été estimée à 48,9 %. Ce qui confirmait une des affirmations des propriétaires. Le **Tableau 14** présente les différents scénarios analysés et le taux d'économie par rapport au coût de la chauffe. Le scénario de référence reflète la situation de l'entreprise lors de l'audit. Le scénario #2 est le scénario qui était envisagé au début par l'entreprise.

Les analyses ont démontré que le scénario envisagé par l'entreprise (scénario 2) aurait augmenté le coût de chauffage d'un facteur 1,10<sup>48</sup> malgré le fait que l'efficacité du nouveau système de chauffe aurait un taux d'efficacité de 70 % versus 48,9 % avec le système actuel.

La seule façon de réduire le coût de chauffage avec un système de chauffe à la granule serait de construire de nouvelles serres avec ou sans écrans thermiques. Ainsi, les scénarios 6 et 10 auraient réduit le coût de la chauffe d'un facteur de 0,73 et 0,55 respectivement. Le scénario 1 est le seul qui aurait permis de réduire les coûts de chauffage avec les vieilles serres (c.-à-d. implantation d'un système de biomasse fonctionnant à la sciure de bois). Pour des raisons techniques et économiques, l'utilisation de la sciure de bois n'était pas viable pour cette entreprise. Ce qui éliminait aussi les scénarios 5 et 9.

## Suite de l'analyse préliminaire

Suite à l'analyse préliminaire, l'entreprise devait prendre les scénarios les plus prometteurs ou encore de rechercher d'autres solutions (exemple : un nouvel employé pour opérer la chauffe ou encore pour maintenir le volume de bûches à un niveau sécuritaire pour l'entreprise), et de les analyser en profondeur en tenant compte des coûts d'implantation et d'opération, des aspects techniques et humains et du plan d'affaires de l'entreprise.

Le dernier point est important, car dans leur cas les propriétaires pensaient exploiter l'entreprise pendant encore une dizaine d'années dans un contexte où il n'y a pas de relève et que le marché n'est pas en expansion. En tenant compte que l'implantation du scénario 6, ceci pourrait demander des investissements de plus de 250 000 \$. Ce qui n'est pas anodin vu le contexte d'opération de l'entreprise. Si l'entreprise décide de conserver les vieilles serres, celle-ci devra tenir compte de l'augmentation du coût de chauffage avec le scénario 2, de l'impact sur leurs marges de profit et le leur compétitivité par rapport à leurs concurrents.

---

<sup>48</sup> coût de chauffage du scénario 2 = coût de chauffage de notre référence x 1,10

### Commentaires

Lorsqu'une entreprise décide de réaliser une action, son analyse doit couvrir non seulement les aspects techniques, mais tous les autres aspects de l'entreprise. De plus, une entreprise doit regarder divers scénarios en tenant compte de son contexte d'opération. Sinon, elle risque de mettre en péril la viabilité et la pérennité de l'entreprise. Aussi, il est souhaitable que l'entreprise discute avec des professionnels d'expérience et neutre pour l'aider à prendre les bonnes décisions.

Tableau 14 : Étude de cas : scénarios analysés

Scénario	Serre		Écran thermique <sup>49</sup>	Combustible <sup>50</sup>				Taux de réduction sur le coût de la chauffe
	Vieille <sup>51</sup>	Nouvelle		Bûche (30%)	Sciure (8%)	Granule (8%)	Mazout n° 2	
Référence	X			X				1,00
1	X				X			0,57
2 (scénario envisagé au départ)	X					X		1,10
3	X						X	2,47
4		X		X				0,67
5		X			X			0,38
6		X				X		0,73
7		X					X	1,65
8		X	X	X				0,50
9		X	X		X			0,28
10		X	X			X		0,55
11		X	X				X	1,24

<sup>49</sup> 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. Dans ce cas, seul l'écran thermique horizontal a été envisagé.

<sup>50</sup> Le coût du combustible a été estimé en 2010 à environ : 55 \$/tonne métrique pour la bûche, 73 \$/tonne métrique pour la sciure de bois, 160 \$/tonne pour la granule de bois et à 1,0357\$/L pour le mazout n° 2. La question de la disponibilité de la biomasse n'a pas été étudiée lors de cette étape, ni d'autres solutions.

<sup>51</sup> Serre où l'ossature est en bois. Ce type de serre est peu utilisé aujourd'hui. La serre est beaucoup moins lumineuse que les nouvelles serres. Une serre lumineuse favorise positivement la production. Il est pratiquement impossible d'installer un écran thermique dans les serres de bois.

### B.02-3.2 : Techniques et méthodologies utilisées pour réduire les coûts d'énergie

Cette section présente différentes techniques et méthodologies utilisées dans le domaine serricole pour réduire les coûts d'énergie habituellement utilisée au Québec. Ceux-ci proviennent :

- des nombreux audits énergétiques et projets de recherches que le CIDES et autres organismes ont réalisés;
- de l'étude « Utilisation rationnelle de l'énergie dans les serres (mars 2007) » publiée par l'ADÈME;
- du document « NRAES-3 : Energy conservation for Commercial Greenhouses » publié par la « Northeast Regional Agricultural Engineering Service (NRAES) ».

Les nouvelles technologies non éprouvées au Québec dans le domaine serricole n'ont pas été intégrées dans ce tableau (exemples : cogénération, système de déshumidification mécanique).

Aussi, le choix de changer la source d'énergie pour la chauffe ou encore le système de chauffe n'a pas été intégré (exemples : géothermie, biomasse), car les économies d'énergie d'un point de vue technico-économique doivent être évalué exhaustivement et demeure du cas par cas. Ce dernier élément sera présenté sommairement à la section B.02-4 : **Changement au niveau de la source d'énergie pour la chauffe ou encore le système de chauffe.**

Voici une brève description des colonnes du **Tableau 15** :

#### Catégorie

Suite aux audits énergétiques, le CIDES a pu catégoriser les mesures en 11 catégories différentes :

- AS = Autres systèmes utilisés en serre
- BV = Brise-vent
- CEP = Contrôle (équipements et pratiques)
- CCA = Conduite climatique et de culture
- EA = Éclairage artificiel/Luminosité
- EC = Écran thermique
- ET = Réalisation d'étude et d'analyse technico-économique
- DC = Distribution de la chaleur
- GC = Génération de la chaleur
- IS = Isolation et structures
- SDV = Systèmes de déshumidification et de ventilation

Ainsi, le tableau a regroupé les techniques et méthodologies en fonction de ces catégories.

#### Mesure

Cette colonne décrit brièvement la mesure.

### Taux potentiel d'économie d'énergie

Cette colonne présente le taux potentiel d'économie d'énergie sur une base annuelle par rapport à la situation antérieure. Cependant, ce taux ne tient pas compte des bénéfices qu'une mesure pourrait procurer au niveau de la production. L'entreprise serricole devra en tenir compte, car il arrive souvent que le Retour sur le Capital Investi (RCI) d'une mesure soit long (plus de cinq ans) si le RCI tient compte seulement de l'aspect énergétique.

Aussi, le taux potentiel d'économie d'énergie variera selon la conception, l'opération et la maintenance de la mesure implantée (s'il y a lieu); mais aussi selon le lieu, les systèmes et les infrastructures en place, et les périodes d'utilisation de cette mesure.

Si une entreprise applique plusieurs mesures, le taux potentiel d'économie d'énergie n'est pas additif.

Voici un exemple :

Une entreprise décide d'implanter trois mesures pour économiser de l'énergie :

- système de contrôle avec un taux potentiel d'économie d'énergie sur une base annuelle estimé à 5 %
- écran thermique avec un taux potentiel d'économie d'énergie sur une base annuelle estimé à 25 %
- brise-vent artificiel avec un taux potentiel d'économie d'énergie sur une base annuelle estimé à 10 %

Globalement, le taux potentiel d'économie d'énergie sera de...

$$35,88 \% \text{ où } [0,3588 = 1 - (1 - 0,05) \times (1 - 0,25) \times (1 - 0,10)]$$

et non de...

$$40 \% \text{ où } (0,40 = 0,05 + 0,25 + 0,10).$$

Pour évaluer le RCI, les professionnels ou l'entreprise serricole devront évaluer les quantités physiques de combustibles ou d'énergie que la mesure pourra engendrer annuellement pour chacune des serres où la mesure sera appliquée, en tenant compte aussi de l'évolution possible des coûts énergétiques sur un horizon de cinq ans.

Le RCI est une étape dans le processus d'évaluation d'une mesure, car comme il a été mentionné antérieurement, l'entreprise devra tenir compte des autres aspects de l'entreprise pour justifier son implantation ou non, tout en évaluant le niveau de risque que l'entreprise peut supporter.

Voici quelques questions que l'entreprise devra se poser pour valider la pertinence de la mesure (liste non exhaustive) :

- Est-ce que la mesure est compatible avec mes systèmes existants?
- Est-ce que l'entreprise a les préalables et les ressources nécessaires pour l'opérer et le maintenir de façon optimale?
- Quel sera l'impact sur la production en terme de qualité et de quantité?
- Est-ce une technologie qui a été éprouvée dans les serres selon le contexte climatique et de production québécoise?
- Quel est le niveau d'expertise du fabricant/distributeur?

- Est-ce que la mesure pourrait mettre en danger la pérennité ou encore la viabilité de l'entreprise si la mesure n'offre pas les économies d'énergie et autres bénéfices anticipés?

Voici deux exemples où une mesure pourrait engendrer des bénéfices au niveau de la production :

#### Exemple #1

Une mesure pourrait réduire le temps de cycle de la production. Dans ce cas, l'entreprise pourrait démarrer plus tard la production et ainsi réduire la chauffe lors des périodes froides qu'on retrouve en début de saison.

Aussi, l'entreprise pourrait démarrer comme à l'habitude, mais elle démarrerait un nouveau cycle de production. Ce qui permet à l'entreprise d'augmenter ses revenus si le marché le permet.

#### Exemple #2

Une mesure permet d'optimiser la gestion et l'homogénéité du climat dans une serre. Avec des conditions optimales, la production pourrait augmenter en terme de quantité et de qualité. Aussi, elle pourrait réduire les incidences de maladies ou les retarder.

#### Commentaires

Cette colonne permettra de présenter s'il y a lieu les avantages et les inconvénients d'une mesure ou encore des informations liés sur l'échéance, la mise en œuvre, les préalables ou encore d'autres points à considérer.

Tableau 15 : Techniques et méthodologies utilisées au Québec pour diminuer les consommations d'énergie dans les serres commerciales

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
1	AS, DC	Utiliser des réservoirs d'hydro-accumulation	5 à 15	<p>Ceci s'applique surtout pour les systèmes de génération de chaleur à biomasse. L'idée est de moduler l'appel de puissance et de régulariser son fonctionnement dans le temps.</p> <p>Sa conception demande des gens d'expérience qui vont intégrer de façon efficiente le réservoir d'hydro-accumulation, le réseau de distribution de chaleur, la bouilloire et le contrôle.</p> <p>Un réservoir d'hydro-accumulation n'est pas un simple réservoir. Le réservoir peut être vertical ou horizontal. Cependant, le réservoir vertical offre un potentiel d'économie d'énergie un peu plus élevé.</p> <p>Il est important d'y maintenir un gradient de température (exemple : <math>\Delta 40</math> °C) sans mettre en danger le système de génération de chaleur. Pour s'y faire, l'utilisation de diffuseurs dans le réservoir est fortement recommandée pour minimiser le brassage de l'eau dans le réservoir. Aussi, l'ajout d'une boucle d'eau chaude au niveau du système de génération de chaleur est essentiel pour éviter les chocs thermiques.</p>
2	AS, GC	Récupérer la chaleur provenant des fumées de combustion (système à condensation)	10 à 20	<p>Il y a de plus en plus de systèmes de génération de chaleur à condensation sur le marché (gaz naturel, propane et mazout n° 2).</p> <p>Toutefois, les systèmes au gaz naturel offrent de plus grandes possibilités vu la nature du combustible. Le choix du système de génération de chaleur doit tenir compte des systèmes déjà en place (exemples : puissance de chauffe, compatibilité avec le système de distribution de chaleur).</p>
3	BV	Brise-vent	5 à 15	<p>Le brise-vent peut être naturel ou artificiel. La conception doit être faite avec des gens d'expérience.</p> <p>Un brise-vent artificiel est effectif dès la fin de son installation, mais il est plus dispendieux qu'un brise-vent naturel (installation, maintenance).</p>

<sup>52</sup> AS = Autres systèmes utilisés en serre; BV = Brise-vent; CEP = Contrôle (équipements et pratiques); CCA = Conduite climatique et de culture; EA = Éclairage artificiel; EC = Écran thermique; ET = Réalisation d'une étude; DC = Distribution de la chaleur; GC = Génération de la chaleur; IS = Isolation et structures; SDV = Systèmes de déshumidification et de ventilation

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
4	CCA, ET	Gestion de la production et intégration de diverses technologies	Variable	<p>L'idée est de réduire la quantité d'énergie pour produire un kilo d'un produit (exemple : tomates) ou encore pour produire une unité d'une plante quelconque.</p> <p>Ainsi, l'entreprise doit revoir annuellement ou au besoin ses façons de faire.</p> <p>L'entreprise doit aborder cette mesure comme si elle entreprenait une démarche d'amélioration continue. Ainsi, cette démarche doit être dynamique et proactive.</p> <p>Voici quelques exemples :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rationalisation de l'utilisation des serres lorsque la demande est plus basse.</li> <li>• Utilisation des serres les moins énergivores ou encore les plus lumineuses en début de saison.</li> <li>• Révision des procédés et des postes de travail : ergonomie, flux de la production</li> </ul> <p>Cette mise à jour doit être réalisée avec une équipe multidisciplinaire, c'est à dire avec la participation dans le temps et à divers niveaux des propriétaires, des responsables, des employés, des conseillers agronomiques et de gestion et d'ingénieurs (aspects techniques et industriels). Selon les décisions, les bénéfiques pourront apparaître rapidement.</p> <p>Le développement de programmes de recherche dans l'entreprise est aussi une mesure qui peut rapporter à court ou moyen terme. En effet, l'idée est d'optimiser ses façons de faire ou encore de mieux comprendre les effets d'un nouveau procédé pour justement y apporter des modifications. Cependant, le développement d'un plan de projets et de surveillance est fortement recommandé pour s'assurer de la qualité des données, mais aussi l'interprétation des résultats. L'aide de professionnels est aussi souhaitable.</p>
5	CEP, CCA	Utiliser un système de contrôle climatique ordonné	3 à 10	<p>Les systèmes de contrôle ordonné permettent plus de flexibilités par rapport à d'autres systèmes de contrôle pour harmoniser et opérer optimalement les différents systèmes qu'on retrouve dans les serres (exemples : ventilation,</p>

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				déshumidification, chauffage, écran thermique, éclairage artificiel, irrigation et fertilisation). De plus, les données provenant de différents capteurs permettent de détecter des anomalies de fonctionnement des systèmes, d'évaluer la performance d'un système ou encore d'optimiser les stratégies de gestion et d'opération de la serre (exemple : intégration de température, programme d'éclairage).
6	CEP	Valider le bon fonctionnement du système de contrôle et des lectures obtenues par les différents capteurs.	2 à 5	C'est la base pour développer adéquatement des indicateurs de performance énergétique (IPÉ) et nos références.
7	DC	Améliorer l'homogénéité du climat dans la serre	2 à 5	Les bénéfices sont souvent plus élevés au niveau agronomique (exemple : réduction/contrôle des maladies) et de la production (exemples : uniformité, augmentation de la quantité et de la qualité des produits).
8	DC	Isoler adéquatement le système de distribution de chaleur.	2 à 5	Il est important de choisir des matériaux résistants aux rayons du soleil, à l'humidité de la serre et aux chocs mécaniques (s'il y a lieu).
9	DC	Optimiser le système de distribution de chaleur	Variable	La conception d'un système de distribution de chaleur demande de l'expertise. L'entreprise serricole doit s'assurer d'avoir les préalables pour faciliter la conception, l'opération et la gestion du système de distribution de chaleur de façon efficiente.  Les systèmes de distribution de chaleur à air chaud sont moins dispendieux que les systèmes de distribution de chaleur à eau chaude. L'air chaud généré par la fournaise est distribué via des tubes de distribution de chaleur à air chaud. Les tubes en polyéthylène sont perforés pour maximiser la distribution de l'air chaud et par le fait même l'uniformité du climat dans la serre. Toutefois, les systèmes de distribution de chaleur à eau chaude favorisent davantage un climat uniforme.  Les systèmes à eau chaude peuvent être de basse température (30°C < T < 50°C). Les systèmes qui utilisent l'eau de basse température sont les : planchers chauffants, tables chauffantes, « growing pipe ».  Les systèmes à eau chaude à haute température (T > 50°C) sont utilisés pour chauffer l'air ambiant de la serre. Ce dernier peut être utilisé avec des

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				aérothermes où l'air chaud généré est distribué par les tubes de distribution de chaleur à air chaud.
10	EA	Optimiser le système d'éclairage artificiel	Variable	<p>La conception d'un système d'éclairage artificiel<sup>53</sup> doit tenir compte des besoins des plants, de l'uniformité de l'éclairage et de la qualité de la lumière émise.</p> <p>Lors de la conception d'un système d'éclairage artificiel, il faut voir notre approche de la façon suivante : « Le système d'éclairage artificiel le plus efficient pour l'entreprise est celui qui va amener chaque photon pour une longueur d'onde donnée au bon endroit sur la plante, à la bonne quantité et au bon moment. ».</p> <p>La luminosité naturelle de la serre ne doit pas être négligée, ni l'impact de production de paniers suspendus sur les autres productions localisées au sol ou sur les tables de production.</p> <p>Pour de l'éclairage artificiel de faible intensité (éclairage de photopériode), les tubes fluorescents sont généralement utilisés.</p> <p>Pour de l'éclairage artificiel de forte intensité, les HPS sont les lampes les plus utilisées actuellement. La présence de lampes DEL devrait y être de plus en plus présente dans les années à venir, car la lumière émise correspond davantage à la lumière utile à la plante tout en étant moins énergivore. Aussi, la qualité de la lumière émise dure plus longtemps que celle émise par les autres types de lampe. Cependant, les DEL sont plus dispendieuses à l'achat.</p> <p>Dans l'éventualité que des DEL remplacent des lampes HPS dans une serre, l'entreprise serricole devra tenir compte que les DEL dégagent moins de chaleur que les HPS. Ainsi, le changement de type de lampe aura un impact au niveau de l'apport de chaleur qu'une lampe procure à la serre.</p> <p>Cependant, il serait possible de localiser les lampes DEL plus près de la canopée et ainsi récupérer davantage la chaleur émise par les DEL. Avec les HPS, il faut maintenir une certaine distance entre la lampe et la canopée, car</p>

<sup>53</sup> Ce qui inclut la lampe, le réflecteur et le ballast.

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				<p>la chaleur émise par les HPS est beaucoup plus intense.</p> <p>L'élaboration d'un programme pour opérer et maintenir le système d'éclairage artificiel est importante. Voici divers exemples dont une entreprise devra tenir compte :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La stratégie utilisée pour éclairer la production (exemples : période d'éclairage, source lumineuse);</li> <li>• Remplacement des lampes et des ballasts dans le temps (exemples : une lampe HPS vers la fin de sa vie va éclairer moins qu'une lampe plus récente et avoir un impact positif moindre sur la production ou sur la qualité de l'uniformité de l'éclairage, une lampe vers sa fin de vie pourrait affecter la durée de vie du ballast, un ballast défectueux peut affecter la durée de vie de la lampe).</li> </ul>
11	EC	Installer des écrans thermiques horizontaux <sup>54</sup>	20 à 35	<p>Le type d'écran thermique, sa gestion, son opération, et l'isolation et l'étanchéité<sup>55</sup> de la serre ont un impact sur le taux potentiel d'économie d'énergie.</p> <p>Il est important que les boucles d'eau chaude du pourtour de la serre s'opèrent de façon indépendante des boucles d'eau chaude localisée au sol ou encore au toit. Ceci dans le but de maintenir l'uniformité du climat. Ce principe pourrait aussi s'appliquer pour les réseaux de distribution de chaleur à air chaud des serres de très grandes superficies. Ainsi, les fournaies fournissant la chaleur sur le pourtour de la serre (sur l'axe longitudinal) pourraient être contrôlées de façon indépendante des autres fournaies fournissant la chaleur dans les autres rangs.</p> <p>Les écrans thermiques s'installent difficilement dans les serres où la hauteur</p>

<sup>54</sup> Les écrans thermiques peuvent servir comme ombrière pour certains types de productions.

<sup>55</sup> Les ouvrants latéraux de type « roll-up » réduit de façon significative le taux potentiel d'économie d'énergie, car ils sont peu étanches même s'ils ne sont pas utilisés la nuit. L'entreprise devra envisager des ouvrants latéraux de type « panneaux » pour maximiser l'étanchéité de la serre lorsque les ouvrants ne sont pas utilisés la nuit. On estime qu'une serre qui aurait un déficit important au niveau de l'étanchéité aurait comme effet de soustraire de 10 points le taux potentiel d'économie d'énergie (exemple : si le taux potentiel d'économie d'énergie est de 30 %, le taux pourrait diminuer à 20 % avec une serre ayant une étanchéité déficiente).

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				au niveau des gouttières est inférieure à 12' et dans les serres individuelles. Dans la majorité des cas, les écrans thermiques sont utilisés au Québec dans des serres jumelées.
12	EC	Installer des écrans thermiques verticaux	3 à 8	Le type d'écran thermique, sa gestion, son opération, l'isolation et l'étanchéité de la serre ont un impact sur le taux potentiel d'économie d'énergie. Facilite l'uniformité du climat sur le pourtour de la serre.
13	GC	Améliorer/Optimiser les systèmes de génération de chaleur (système existant).	2 à 5	Il peut s'agir de la chambre de combustion, des buses utilisées, du système de contrôle intrinsèque du système de génération de chaleur ou encore de l'harmonisation avec le système de contrôle climatique de la serre.
14	GC	Installer plusieurs chaudières de puissance moyenne plutôt qu'une seule chaudière de puissance élevée.	2 à 5	Ceci s'adresse surtout aux entreprises qui opèrent des serres ayant de très grandes superficies. Ceci permet d'une part de mieux moduler la puissance d'appel de la chauffe selon les besoins et les saisons. D'autre part, si une des chaudières doit être arrêtée pour effectuer des travaux de maintenance ou des réparations, le second peut prendre la relève pour empêcher la production de subir des dommages le temps où les travaux seront réalisés. <sup>56</sup>
15	GC	Maintenir le système de génération de chaleur (système existant).	2 à 5	Il est recommandé de le faire vérifier annuellement avant le début de la saison froide. Une fournaise en mauvais état pourrait émettre des gaz nuisibles à la production (exemple : éthylène) ou encore aux personnels (exemple : monoxyde de carbone).
16	IS	Compartimenter les serres de façon indépendante	2 à 5	Lorsque des systèmes de chauffe sont opérés de façon indépendante dans une serre et que les consignes de chauffe sont différentes, ceci a pour effet de diminuer l'efficacité énergétique de la serre. De plus, l'uniformité du climat en fonction des productions est rarement atteinte. Ainsi, une production dans une zone n'aura pas nécessairement les

<sup>56</sup> Lors de la conception de la chauffe, il faut connaître le niveau de sécurité recherché dans la serre au niveau climatique (exemple : température minimale désirée dans la serre).

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				conditions climatiques optimales pour favoriser une production optimale.
17	IS	Construire les différentes serres à proximité les unes des autres ou encore les regrouper.	2 à 5	Ceci diminue pour une hauteur donnée la superficie des murs en contact direct avec l'extérieure.
18	IS	Entretien de la structure de la serre.	2 à 5	Les matériaux isolants doivent être protégés des rayons lumineux du soleil, des agents chimiques, de l'eau et des chocs mécaniques. Les matériaux translucides doivent maximiser l'étanchéité de la serre et la pénétration de la lumière.
19	IS	Isoler le plancher des serres	5 à 10	Lorsqu'une entreprise serricole utilise des planchers chauffants, il est primordial de l'isoler pour que le transfert de chaleur s'effectue optimalement vers le système racinaire des plants localisés au sol. L'utilisation d'isolant à bulle d'air, avec ou sans film aluminisé, n'est pas recommandée.
20	IS	Isoler le pourtour des serres.	2 à 5	Il est recommandé d'isoler le pourtour de la serre de 61 cm (24 pouces) sous le niveau du sol. Il faut s'assurer que les serres et son pourtour soient bien drainés pour préserver l'isolation du pourtour (minimiser l'effet du gel-dégel).
21	IS	Isoler les murs des serres jusqu'à hauteur des tables de production.	2 à 5	Facilite l'homogénéité du climat et la conception du réseau de distribution de chaleur à air chaud.
22	IS	Isoler les parties chauffées d'une serre des autres	2 à 15	L'isolation peut être fixe de façon permanente, amovible ou partiellement amovible <sup>57</sup> . Lors de l'application de cette mesure, il faut tenir compte de la pénétration de la lumière naturelle dans la serre selon la période où cette mesure serait appliquée. Ainsi, il est recommandé d'isoler les sections non chauffées des sections chauffées lors de l'ouverture graduelle des chapelles en début de production.

<sup>57</sup> Il peut y avoir diverses façons de faire. L'important, c'est de minimiser les infiltrations d'air d'une section à l'autre sans nuire aussi à la pénétration de la lumière. Les chapelles séparées devraient être opérées de façon indépendante au niveau de la chauffe, de la ventilation et de la déshumidification.

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				Les commentaires liés à la mesure « Compartimenter les serres de façon indépendante » de ce tableau peuvent aussi s'appliquer à cette mesure.
23	IS	Optimiser l'isolation de la serre	5 à 50	<p>La surface extérieure des murs doit protéger les matériaux isolants des rayons lumineux du soleil, des agents chimiques, de l'eau et des chocs mécaniques.</p> <p>Il est important de mentionner que la plupart des programmes d'aide vont exiger un facteur isolant minimum selon le type de surface à isoler (exemples : mur, toit, porte).<sup>58 59</sup></p> <p>Dois-je isoler de façon à rencontrer le facteur isolant minimum?</p> <p>Comme il a été mentionné plus tôt, les programmes d'aide l'exigent, sinon vous ne pourriez pas l'obtenir l'aide financière.</p> <p>Toutefois, une isolation qui ne rencontre pas le facteur isolant minimum pourrait se justifier d'un point de vue économique pour l'entreprise serricole même si on tient compte de l'aide financière. Ceci est spécifique aux serres et aux matériaux utilisés.</p> <p>À titre d'exemple, voici un cas réel :</p> <p>Une serre existante de 5 000 pi<sup>2</sup> n'était pas isolée du tout. Le toit et les murs latéraux étaient composés de films en polyéthylène double, et les extrémités en polycarbonate (Twinwall 8 mm). Pour optimiser l'isolation, les murs latéraux ont été isolés sur 4' donc 6" sous le niveau du sol. Le mur nord de la serre (une des extrémités de la serre) a été isolé au complet donc 6" sous le niveau du sol. Le mur sud n'a pas été isolé, car une aire de travail était greffée à la serre.<sup>60</sup></p> <p>Le premier scénario consistait à isoler la serre pour obtenir l'aide financière. Le deuxième scénario consistait à isoler la serre de façon conventionnelle par rapport au domaine serricole. L'isolation des murs pour les deux scénarios représente 15 % de la superficie totale</p>

<sup>58</sup> Les organismes appliquent présentement sans discernement les normes liées au code du bâtiment.

<sup>59</sup> Pour atteindre le facteur isolant désiré, ceci peut amener à des coûts supplémentaires et à augmenter l'épaisseur des murs.

<sup>60</sup> L'aire de travail était composée de panneaux en polycarbonate.

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				<p>des murs en contact avec l'extérieure incluant le toit.</p> <p>Voici les résultats obtenus :</p> <p><u>Scénario 1 (facteur isolant minimum pour obtenir l'aide financière)</u>                      Mur isolé R-22 (Norex 3"), taux d'économie potentiel de 18,5 %.                      Coût sans subvention (incluant la main d'oeuvre) : 24 000 \$; Coût avec subvention (incluant la main d'oeuvre) : 21 000 \$; Retour sur le capital investi : 6,3 ans (incluant l'aide financière)</p> <p><u>Scénario 2 (isolation conventionnelle – sans aide financière possible)</u>                      Mur isolé R-10 (panneau 2"), taux d'économie potentiel de 17,4%.                      Coût (incluant la main d'oeuvre) : 7 000 \$; Retour sur le capital investi : 2,3 ans (sans aide financière).</p> <p>Même si le facteur isolant rencontre le minimum exigé par les programmes d'aide, ceci démontre que le RCI peut être beaucoup plus long qu'une isolation conventionnelle des serres.</p> <p>Toutefois, chaque cas est unique. L'entreprise sericole doit effectuer l'analyse de divers scénarios pour justifier un scénario versus un autre.</p> <p>On pourrait s'attendre qu'un mur isolé R-22 offrirait des économies beaucoup supérieures à R-10. Ce qui n'est pas le cas. Ceci peut s'expliquer du fait que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les superficies isolées d'une serre seront toujours beaucoup plus faibles que les superficies non isolées d'une serre. Le but d'une serre est de laisser pénétrer la lumière naturelle tout en maximisant la luminosité intérieure de la serre.</li> <li>• les matériaux translucides d'une serre offrent des facteurs isolants très faibles par rapport aux matériaux isolants<sup>61</sup>. Ainsi, l'effet d'un</li> </ul>

<sup>61</sup> Pour les films de polyéthylène, les facteurs isolants présentés sont des valeurs lorsque les films sont installés et utilisés de façon optimale. Une installation non adéquate, le vent frappant sur les films et l'âge de ceux-ci vont affecter à la baisse les facteurs isolants. Les panneaux en polycarbonate n'ont pas les mêmes contraintes que les films de polyéthylène. Ainsi, le facteur isolant est davantage stable selon les conditions extérieures. L'entreprise doit tenir compte aussi d'autres facteurs pour choisir adéquatement un matériau translucide, par exemple : la qualité de la lumière transmise dans la serre, la facilité de l'installer et de l'entretenir, la durée de vie, la possibilité de fixer ou non des appareils sur un mur, etc.

#	Catégorie <sup>52</sup>	Mesure	Taux potentiel d'économie d'énergie (%)	Commentaires
				<p>isolant R-10 est très élevé dès le départ. Cependant, la différence de l'effet entre un R-10 et R-22 est peu significative dans les conditions d'utilisation de la serre.<sup>62</sup></p> <p><u>Matériaux translucides</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Double polyéthylène (IR + Standard) : R-1,80</li> <li>○ Double polyéthylène (Standard) : R-1,40</li> <li>○ Polycarbonate 8 mm – Twinwall : R-1,60</li> </ul> <p><u>Matériaux isolants</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Norex 3" : R-22</li> <li>○ Polystyrène extrudé - 2" : R-10</li> </ul> <p>Est-ce que les futurs programmes d'aide financière pourront tenir compte de cette particularité? Il serait souhaitable que « oui », comme il l'est présentement pour les écrans thermiques.</p> <p>Il est important de se rappeler qu'on ne doit pas considérer la serre comme un simple bâtiment, mais comme un outil de production.</p>
24	SDV	Vérifier l'étanchéité des différentes ouvertures qu'on retrouve dans les serres	5 à 10	Il faut minimiser les infiltrations d'air et vérifier régulièrement les joints d'étanchéité des ouvrants au toit et latéraux, les portes, les entrées et sorties d'air provenant des systèmes de ventilation mécanique. Une étanchéité accrue facilite à maintenir l'uniformité du climat dans la serre, mais aussi d'utiliser à son plein potentiel un écran thermique (s'il y a lieu).

<sup>62</sup> Si la serre utilisée dans l'exemple serait isolée comme une maison (toit : R-30; murs : R-20, cette serre consommerait de :

1. 4 à 5 fois moins d'énergie qu'une serre non isolée;
2. 3,5 à 4,0 fois moins d'énergie qu'une serre isolée telle que présentée dans l'exemple.

#### **B.02-4 : Changement au niveau de la source d'énergie pour la chauffe ou encore le système de chauffe**

Concernant le choix de changer la source d'énergie pour la chauffe (exemple : biomasse), la source de chaleur pour la chauffe (exemple : rejets thermiques) ou encore le système de chauffe (exemple : remplacer une chaudière régulière au gaz naturel par une chaudière à condensation au gaz naturel), demande à l'entreprise serricole de bien évaluer sa situation actuelle et les actions possibles pour améliorer sa performance énergétique.

Par la suite, si le changement au niveau de la source d'énergie, de la source de chaleur ou encore du système de chauffe demeure toujours pertinent pour l'entreprise, celle-ci doit analyser rigoureusement :

- les préalables nécessaires pour effectuer cette conversion et de l'opérer de façon efficiente;
- la disponibilité de la ressource dans le temps;
- les aspects techniques et d'ingénierie;
- le niveau du risque acceptable pour l'entreprise (exemples : dépassement des coûts, sources non disponibles du jour au lendemain au niveau de la quantité ou encore de la qualité);
- les divers coûts sur une projection de cinq ans (exemples : installation, opération, maintenance, formation);
- l'intégration du nouveau procédé dans les processus de l'entreprise;
- l'apport à la chauffe associé à cette nouvelle source;
- si la technologie envisagée a déjà été testée dans le domaine serricole québécois;
- les avantages et les inconvénients;
- le coût pour une désinstallation.

Aussi, il faut faire attention à certaines affirmations. Par exemple, lorsqu'on entend que l'énergie sera gratuite après l'amortissement, il y aura toujours des déboursés pour l'opérer, le maintenir et le remplacer éventuellement.

L'efficacité et la durée de vie sont souvent bonifiées et ne tiennent pas compte des conditions d'opération d'une serre. Il faut bien analyser les chiffres présentés pour savoir comment ils ont été évalués et dans quelles conditions.

### **B.03 Caractériser le rejet thermique disponible**

Il est important pour l'entreprise sericole de caractériser les rejets thermiques en identifiant entre autres :

- La distance entre la source du rejet thermique et l'entreprise sericole.
- Les températures d'opérations sur une base mensuelle et journalière :
  - Entré du côté source (usine);
  - Sortie du côté source (usine);
  - Entrée du côté charge (serre);
  - Sortie du côté charge (serre).
- Les types de fluide.
- Les débits des fluides.
- Les pressions des fluides.
- Les périodes de disponibilité du rejet thermique en tenant compte :
  - des fermetures de l'usine lors de période d'entretien;
  - des bris potentiels;
  - le risque de fermeture de l'usine.
- Les phases des fluides en activité.
- Les agents corrosifs en présence.
- Les contaminants, en particulier dans les cas de rejet thermique d'air de combustion.
- La filtration.

Chacun des paramètres mentionnés ci-dessus fera l'objet d'une analyse par la firme responsable de la mise en place de l'appareil. Le producteur devra acquérir ces informations, parfois avec l'aide de la firme qui l'accompagne dans le projet, afin de réaliser ledit projet.

Ces éléments vont dicter quel type d'échangeur de chaleur et d'aménagement seront nécessaires pour utiliser de façon efficiente les rejets thermiques et sa pertinence technico-économique. L'entreprise devra tenir compte aussi du risque possible de la fermeture de l'usine fournissant les rejets thermiques.

Les rejets thermiques peuvent être catégorisés selon le [Tableau 16](#). Il faut s'attendre à ce que les rejets thermiques disponibles pour les entreprises sericoles soient surtout de la catégorie basse température ou très basse température. Les autres types de rejets sont la plupart du temps récupérés par l'usine qui génère les rejets thermiques.

Tableau 16 : Catégorisation des rejets thermiques selon leur température

Types de rejets	Plage de températures <sup>63</sup>
<b>Très basse température</b>	$T < 45^{\circ}\text{C}$
<b>Basse Température</b>	$45^{\circ}\text{C} \leq T < 100^{\circ}\text{C}$
<b>Moyenne température</b>	$100^{\circ}\text{C} \leq T < 250^{\circ}\text{C}$
<b>Haute température</b>	$250^{\circ}\text{C} \leq T < 450^{\circ}\text{C}$
<b>Très haute température</b>	$T \geq 450^{\circ}\text{C}$

**B.04 Identifier adéquatement les systèmes d'échangeur de chaleur pouvant utiliser le rejet thermique choisi tout en tenant compte des systèmes qui sont utilisés dans les serres**

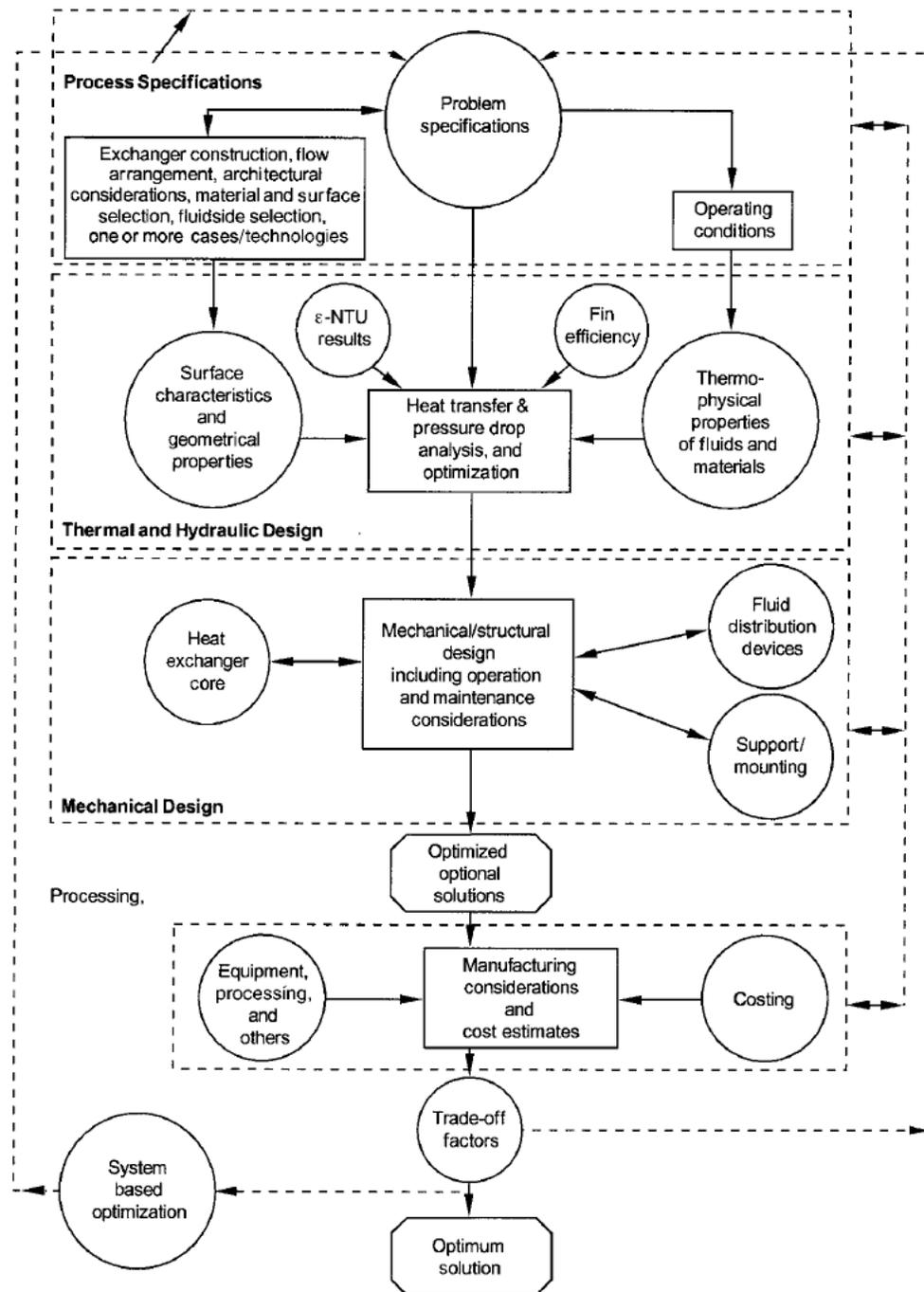
Plusieurs critères entrent alors en jeu lors de la sélection d'un échangeur de chaleur et de son dimensionnement. Sans parler ici de dimensionnement, mentionnons que les éléments techniques d'intérêts qui doivent être considérés dans le choix d'un échangeur de chaleur sont en plus de ceux énumérés dans la section **B.03 Caractériser le rejet thermique disponible** :

- Les charges de chauffage de la serre et sa dynamique énergétique sur une base mensuelle et journalière.
- Les périodes d'utilisation anticipées de l'échangeur de chaleur.
- L'espace d'installation réservé.
- Les aspects contractuels :
  - Les ententes sur les périodes d'entretien;
  - Les responsabilités en cas de bris et d'entretien;
  - Les pénalités lors du non-respect des responsabilités.

Le lecteur trouvera à l'**ANNEXE D : Fiche de référence pour la réalisation des mandats** une liste d'entreprise susceptible d'aider l'entreprise serricole à concevoir ou à sélectionner adéquatement un système d'échangeur de chaleur. L'expertise de telle firme est essentielle. La firme va chercher à connaître certaines propriétés thermo physique d'intérêts (voir l'**ANNEXE E : Liste des propriétés thermo physique d'intérêt**). De plus, la firme d'ingénierie va utiliser un processus tel que présenté à la **Figure 8** pour finalement concevoir ou encore sélectionner un échangeur de chaleur qui répondra au besoin de l'entreprise serricole. Pour aider le producteur en serre et le lecteur, les termes utilisés par les ingénieurs au niveau des échangeurs de chaleur sont présentés à l'**ANNEXE H : Lexique anglais-français associé aux échangeurs de chaleur**.

<sup>63</sup> Les plages de températures peuvent varier légèrement.

Figure 8 : Aspects à tenir compte lors de la conception ou encore sélection d'un échangeur de chaleur (modifié par Shah, 1982; Taborek, 1988; et and Kays and London, 1998.)



Source : Fundamentals of heat exchanger design – © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. – p. 80

Au niveau des échangeurs de chaleur, il en existe une multitude de technologies sur le marché. Ceux-ci peuvent être classés de différentes façons comme il est présenté à l'ANNEXE F : Classification des échangeurs de chaleur selon diverses particularités (Shah, 1981).

En prenant comme hypothèse que les serres auront accès surtout à des rejets thermiques dites de basse température, il faudra alors considérer les échangeurs à plaques (Figure 9, Figure 10), à plaque en spirale (Figure 11) et à coquille et tubes (Figure 12) comme des choix possibles.<sup>64</sup> Évidemment, tous les projets liés à l'utilisation de rejets thermiques sont des cas uniques. Ainsi, il pourra avoir des projets où d'autres types d'échangeur de chaleur pourront être utilisés. Le Tableau 17 présente les principales caractéristiques de ces types d'échangeur de chaleur.

Figure 9 : Design d'échangeur à plaque avec flexibilité d'expansion par l'ajout ou le retrait de plaque

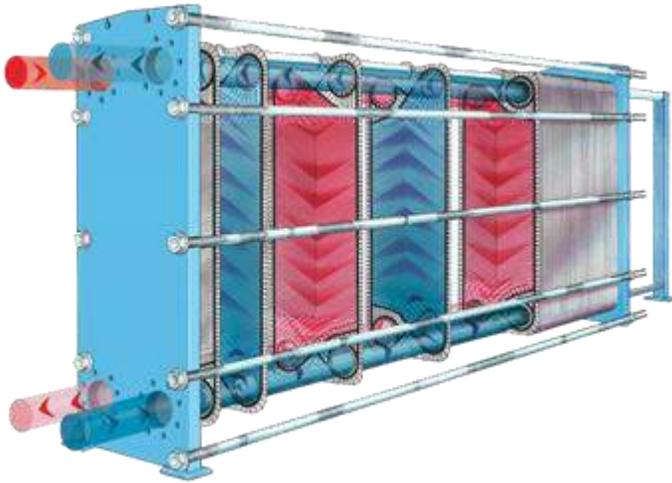


Figure 10 : Collection d'échangeurs de chaleurs à plaques



<sup>64</sup> Source des figures B.03.F01 à B.03.F04 : Projet d'utilisation des rejets thermiques dans la production sericole (rapport d'expertise – Projet ESA033) – pp. 11-13.

Figure 11 : Échangeur de chaleur à plaque en configuration spirale

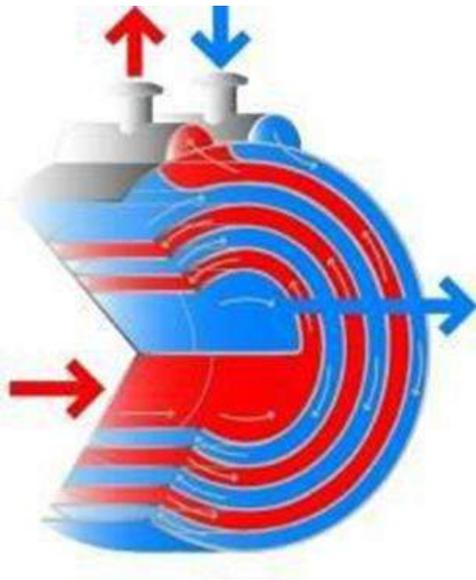


Figure 12 : Composante d'un échangeur à calandre et tube (vue en coupe)

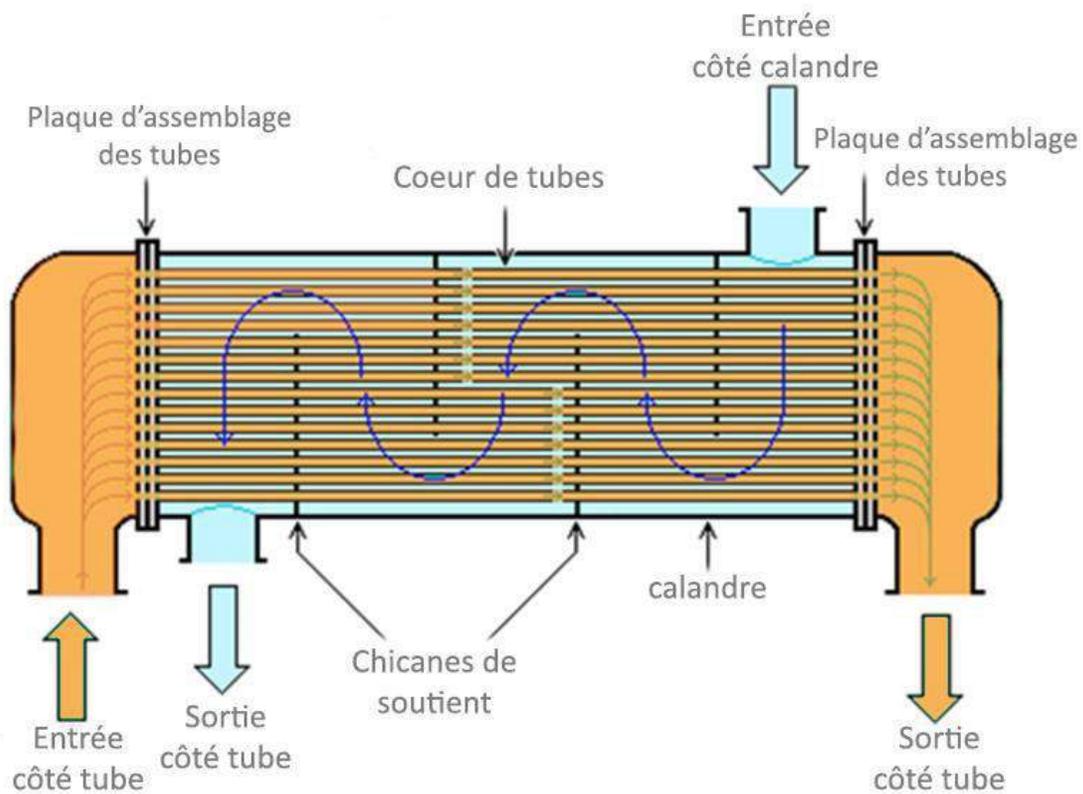


Tableau 17 : Choix du type de technologie

Types d'échangeurs	Limites de pression maximale typique	Limite de température maximale typique	Fluide typique	Coûts relatifs	Caractéristiques principales
Échangeur à plaques	25 ATM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 160 °C</li> <li>• 200 °C (joints spéciaux)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquide – liquide</li> <li>• Liquide – gaz</li> <li>• Gaz-gaz</li> </ul>	Faible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peu coûteux;</li> <li>• Facile à modifier;</li> <li>• Encrassement réduit;</li> <li>• Précision dans l'approche des températures;</li> <li>• Contre-courant réel;</li> <li>• Grande surface d'échange compacte;</li> <li>• Empreinte au sol réduite;</li> <li>• Entretien facile et capacité de remplacer des pièces défectueuses.</li> </ul>
Échangeur à plaques en spirale	25 ATM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 400 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquide liquide</li> <li>• Vapeur-vapeur</li> </ul>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nettoyage automatique;</li> <li>• Très bon choix dans les applications où les fluides ont des viscosités élevées.</li> </ul>
Échangeur à tubes et calandre	590 ATM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 500 °C</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Liquide liquide</li> <li>• Vapeur-vapeur</li> </ul>	Moyen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Échangeur reconnu et très souvent utilisé;</li> <li>• Expertises en réparation, entretien et opération disponibles;</li> <li>• Adapté aux grandes pressions et aux grandes températures.</li> <li>• Très flexible aux niveaux du design;</li> <li>• Lourd dans sa construction;</li> <li>• Nécessite parfois une grande empreinte au sol lors de l'entretien.</li> </ul>

Note : 1 ATM = 101,325 kPa ≈ 14,696 PSI

### **B.05 Déterminer le dimensionnement du système d'échange de chaleur en fonction de différents scénarios**

En caractérisant les rejets thermiques et les besoins de chauffe de l'entreprise serricole telle que mentionnée dans la section **B.03 Caractériser le rejet thermique disponible** et la section **B.04 Identifier adéquatement les systèmes d'échangeur de chaleur pouvant utiliser le rejet thermique choisi tout en tenant compte des systèmes qui sont utilisés dans les serres**, la firme d'ingénierie pourra proposer une solution appropriée

### **B.06 Déterminer l'espace requise pour l'équipement et des bâtiments à construire**

Lors de la réalisation des plans et devis, il importe de déterminer la superficie requise pour implanter les différentes composantes du système de chauffe. Il faut bien évaluer l'espace en vue de faciliter la maintenance et l'entretien des différentes composantes du système et également d'avoir accès aux composantes primaires et secondaires du système. Il est souhaitable que l'échangeur de chaleur soit à l'intérieur d'un bâtiment.

### **B.07 Déterminer un système de sécurité/appoint adéquat**

Une entreprise serricole doit développer avant chaque nouvelle saison de production une alternative pour chauffer leurs serres en cas de pénurie et même de bris du système de chauffe principal.

Lorsqu'une entreprise serricole implante un système de chauffe, celui-ci doit être conçu pour garantir une température minimale supérieure à 5 °C sans écrans thermiques pour garantir la pérennité de la production dans les serres. Pour y arriver, il peut avoir différentes façons de faire.

#### Système centralisé

- L'entreprise peut utiliser un système de chauffe de secours. Celui-ci peut utiliser une source d'énergie différente du système de chauffe principal. Par exemple, une entreprise qui utilise un système de chauffe principal à la biomasse peut utiliser un système de secours au mazout léger. La puissance de chauffe du système de secours peut être identique ou moindre à la puissance du système principal pourvu que le système de secours puisse maintenir la température au-dessus de 5 °C lorsque le système principal n'est pas en service.
- Une autre option consiste à installer deux systèmes de chauffe ou plus pour répondre au besoin de chauffe. Ainsi, la puissance totale du système de chauffe répondra au besoin de chauffe lors de la période de pointe. Aussi, si un des systèmes tombe en panne l'autre peut prendre la relève et maintenir la température au-dessus de 5 °C.

### Systemes décentralisés

Dans une serre individuelle, il faut au minimum deux fournaies. Dans une serre jumelée, il faut au minimum trois fournaies. Si une des fournaies tombe en panne, la température de la serre doit être maintenue au-dessus de 5 °C. Cette valeur peut varier selon le type de production et la sécurité recherchée.

#### **B.08 Évaluer la comptabilité du système d'échange de chaleur choisi en fonction du plan de distribution de chaleur et du contrôle climatique**

La firme d'ingénierie qui concevra le système d'échangeur de chaleur va tenir compte des besoins présents et à venir de l'entreprise serricole et des systèmes déjà en place dans les serres. Cependant, le producteur doit bien connaître ses besoins pour être en mesure de le communiquer avec la firme d'ingénierie.

#### **B.09 Identifier les autorisations nécessaires pour réaliser ce type de projet**

Le producteur doit communiquer avec les autorités locales, provinciales et fédérales pour obtenir les permis nécessaires et connaître leurs exigences. Il est aussi très important de contacter sa compagnie d'assurance.

#### **B.10 Évaluer les contraintes sur le plan des ressources humaines**

Les ressources humaines contribuent très certainement à l'avancement du projet, mais peuvent également nuire à son avancement. Ainsi, les contraintes qu'elles présentent doivent être dûment évaluées afin d'éviter des conflits ou des retards d'échéancier notamment.

Il est nécessaire que le personnel possède les habiletés, les connaissances, les documents et les outils nécessaires pour assurer une bonne gestion et un bon contrôle de l'ensemble du projet.

#### **B.11 Évaluer exhaustivement les coûts pour réaliser le projet et faire fonctionner le système**

Comme dans tout projet de ce type, une évaluation des coûts passe par les étapes suivantes :

- Évaluation de l'économie monétaire engendrée par l'utilisation des rejets thermiques comme source de chauffage.
- Évaluation des frais de fonctionnement.
- Évaluation des coûts d'investissements pour les installations et équipements.
- Sommaire des coûts et calcul de la rentabilité de l'investissement.

### **B.12 Rechercher les sources de financement et déterminer la capacité d'investissement**

Le financement d'un tel type de projet est souvent délicat et la recherche de financement peut s'en trouver compliquée. Il peut être bon de diversifier vos sources de financement, vous accéderez ainsi à des types de services différents et s'adaptant à vos divers besoins spécifiques. Il peut également être plus facile d'obtenir le montant requis puisque vous n'avez pas qu'une source de financement unique. De plus, la recherche de divers modes de financement démontre votre proactivité auprès des prêteurs.

Toutefois, peu importe le type de financement obtenu, une analyse rigoureuse de la capacité d'investissement doit être effectuée afin de ne pas compromettre la capacité financière de l'entreprise. De plus, il importe de regarder les exigences particulières de chaque type de financement pour éviter certaines surprises qui pourraient être très coûteuses.

## C. Implantation

### **C.01 Établir les ententes d'approvisionnement en rejets thermiques**

Les ententes ont pour but d'identifier les responsabilités de chacun des parties et leurs limites. Le contenu du contrat devrait traiter les points suivants (liste non exhaustive) :

1. Définitions des responsabilités des parties au niveau :
  - a. des investissements touchant les aspects financiers, humains et légaux;
  - b. de la conception des systèmes;
  - c. des obligations légales (lois et règlements en vigueur au niveau municipal, provincial ou encore fédéral);
  - d. des opérations;
  - e. de la maintenance des divers systèmes;
  - f. de la désinstallation ou encore du remplacement en fin de vie utile ou encore lors du retrait de l'un des deux parties.
2. Garantie de fourniture à long terme.
3. Débit et température minimums à fournir.
4. Pénalités en cas d'interruption.
5. Définitions des droits de propriété des parties.
6. Réduction des risques (ex : indépendance de la source par rapport au générateur).
7. Assurances.

### **C.02 Établir les mesures d'efficacité énergétique**

L'énergie la moins chère est celle que nous n'utilisons pas. Ainsi, comme il a été mentionné précédemment, plusieurs mesures d'efficacité énergétique peuvent être implantées dans la serre pour réduire la consommation énergétique. Ces mesures peuvent permettre des économies d'énergie non négligeable. Toutefois, il est impondérable que l'entreprise développe son propre système de management de l'énergie pour structurer et harmoniser la gestion énergétique, et les actions pour améliorer sa performance énergétique sans affecter la production tout en maintenant la viabilité et la pérennité de celle-ci.

### **C.03 Élaborer le cahier des charges, effectuer les appels d'offres et analyser les soumissions**

La première étape consiste à réaliser le cahier des charges. Le cahier des charges est un document qui contient la liste des besoins, des exigences et des contraintes qu'il faut respecter lors de la réalisation d'un projet. Pour chacun des éléments pour lesquels vous demanderez une soumission, il est recommandé de communiquer avec au moins trois fournisseurs, fabricants ou installateurs (appel d'offres). Lorsque les fournisseurs auront répondu à l'appel d'offres, chacune des soumissions devra être analysée. Les principaux critères qui doivent être regardés sont : la compréhension de l'entreprise et de l'appel d'offres, la qualité et la précision de l'offre de service, l'expérience de l'entreprise et du chargé de projet, l'échéancier, le respect des demandes et les limites des paramètres techniques du système demandé, la formation, le soutien après-vente et les garanties.

#### **C.04 Choisir la soumission répondant le mieux à l'appel d'offres**

Après avoir sélectionné le fournisseur de choix, il faut s'assurer que le soumissionnaire retenu connaît ses responsabilités et que les échéanciers et les budgets seront respectés. Le producteur doit aussi voir à obtenir les plans et devis et inclure, au contrat, des pénalités en cas de non-respect du mandat et des échéanciers, et de problèmes techniques dans la phase de test.

#### **C.05 Acquérir les permis et autorisations nécessaires**

Il est indiqué de commencer les démarches d'acquisition de permis et d'autorisation auprès des instances gouvernementales le plus tôt possible, car ces autorisations sont parfois très longues à obtenir et peuvent ralentir le projet si les démarches sont entreprises trop tard dans le processus.

#### **C.06 Établir le budget et obtenir le financement**

Comme dans tout projet de ce type.

#### **C.07 Établir les ententes entre les diverses parties (fabricants, fournisseurs, installateurs)**

Tel que mentionné précédemment.

#### **C.08 Développer un plan de mesurage/surveillance pour une évaluation de l'efficacité énergétique**

Le plan de mesurage/surveillance est recommandé et doit être conçu pour identifier les anomalies de fonctionnement, apporter des ajustements au système de contrôle, évaluer la performance du système au niveau de la consommation d'énergie et de la réduction des gaz à effet de serre (GES), optimiser le système de chauffe en fonction de différentes conditions et échanger les constats observés avec les divers intervenants (fabricants, installateur, professionnels, responsable de l'entreprise serricole).

#### **C.09 Installer et construire le système d'exploitation des rejets thermiques (suivi des travaux)**

Il sera important de voir à ce qu'une ressource de l'entreprise fasse le lien entre les activités réalisées par le ou les soumissionnaires et l'entente conclue. À toutes les étapes, il ne faut pas hésiter à interroger l'entrepreneur ou autre et à signaler toute anomalie ou différence avec le devis.

#### **C.10 Développer un programme de maintenance**

La maintenance englobe toutes les actions de dépannage, de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements. Son rôle est d'assurer la fonctionnalité du système de chauffage et de ses composantes dans le but de satisfaire les besoins de la production et de l'entreprise. Un dossier devrait être attribué pour chaque système et sous-système et devrait contenir les procédures à suivre, les interventions réalisées, les anomalies observées et tous autres éléments pertinents.

L'historique permettra d'intervenir plus rapidement et au bon moment ainsi qu'à effectuer un suivi indépendamment de la personne qui l'a réalisé.

**C.11 Assurer une formation adéquate du personnel impliqué dans les opérations et la maintenance du système**

Comme il a été mentionné précédemment, les ressources humaines peuvent présenter un enjeu de taille dans la réalisation d'un projet. Il est nécessaire de fournir une formation adéquate aux employés afin que tout le personnel connaisse l'impact de chaque action sur le système de chauffe, tant en ce qui a trait à sa fonctionnalité et sa durabilité qu'à sa performance dans le temps.

## **D. Opération et maintenance**

### **D.01 Suivre en continu la performance du système**

L'entreprise doit faire un suivi pour assurer le bon fonctionnement du système. Si la performance est en dessous des attentes, les données recueillies pourront aider l'entreprise serricole ou encore la firme d'ingénierie à identifier les causes. Ce suivi demande une période d'apprentissage pour maîtriser le tout et pour corriger les anomalies qui pourraient survenir au démarrage ou encore lors de conditions d'opération particulière.

### **D.02 Maîtriser les opérations du système et de ses diverses composantes selon les principaux modes de fonctionnement**

La formation des opérateurs et le suivi par les responsables du projet sont essentiels pour maîtriser rapidement les opérations et l'utiliser à son plein potentiel de façon efficiente.

### **D.03 Effectuer la maintenance en fonction des observations et des obligations**

L'entreprise serricole doit suivre son programme de maintenance pour préserver le bon fonctionnement du système et respecter ses obligations contractuelles. Le programme de maintenance doit être mis à jour au besoin.

### **D.04 Identifier les anomalies et contacter les responsables internes et externes afin de les résoudre**

Tel que mentionné.

### **D.05 Ajuster les opérations et les systèmes en fonction des observations et des obligations**

Tel que mentionné.

## RECOMMANDATIONS

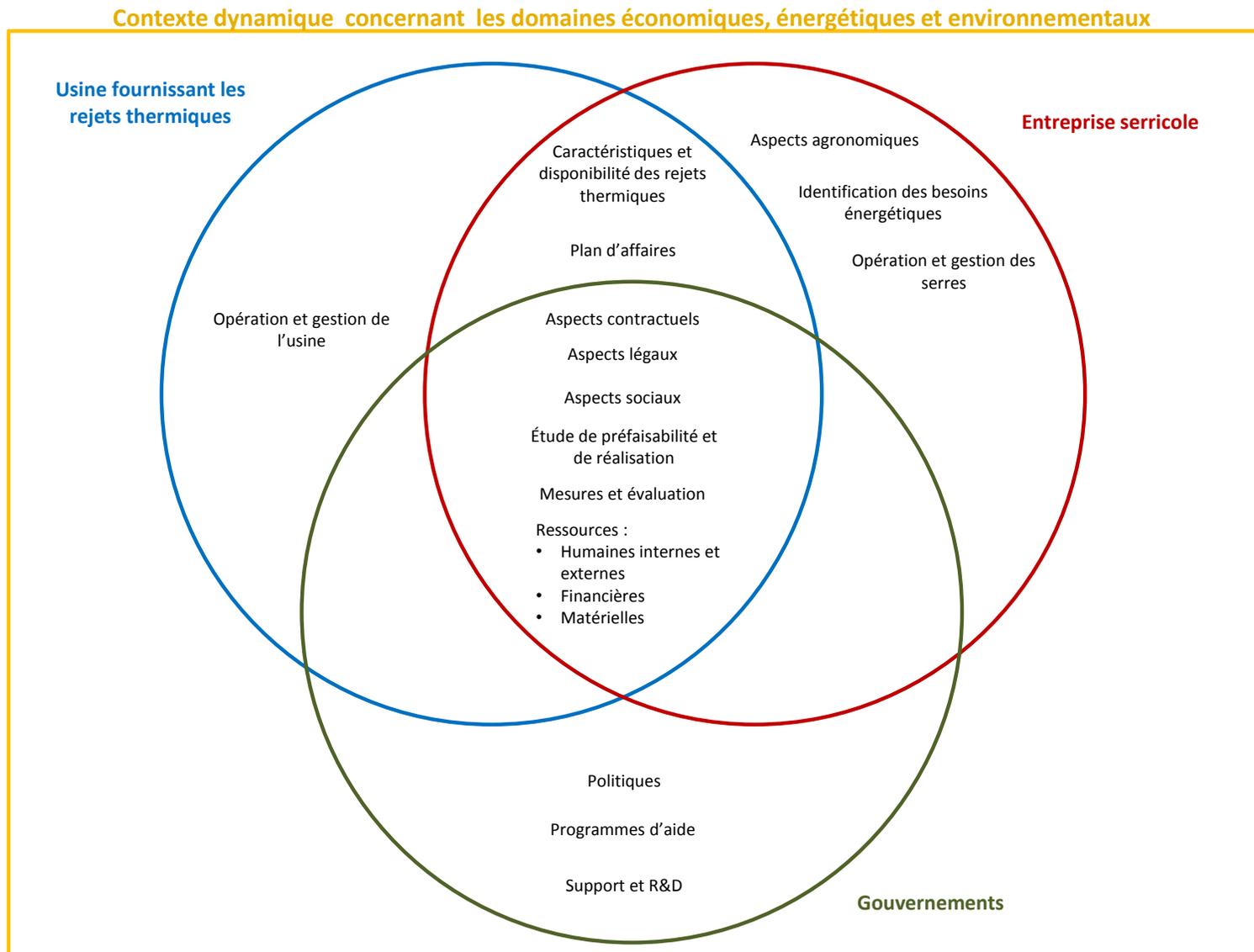
La *Figure 13 : Aspects à connaître et à maîtriser pour réaliser un projet lié à l'utilisation des rejets thermiques* présentent les principaux éléments qui lient les principaux partis dans un tel projet. Ce n'est pas une liste exhaustive, mais elle donne une bonne idée des éléments qui doivent être connus et maîtrisés.

La maîtrise de ces éléments facilitera les discussions entre les parties et ainsi présenter leurs : attentes, préoccupations et limites; pour ensuite développer des actions communes et harmonisées pour réaliser à la satisfaction de tous un projet associé à l'utilisation des rejets thermiques.

Il sera important que l'entreprise serricole soit bien accompagnée pour qu'elle soit en mesure de réaliser la démarche présentée dans ce rapport. Cet accompagnement peut être fait par des agronomes, des ingénieurs et des conseillers financiers. Ces gens ou encore ces firmes qui accompagneront l'entreprise serricole devront avoir des expériences variées pour justement combler leurs manques de connaissance et aussi briser leur isolement. En effet, les petites entreprises serricoles n'ont pas toujours accès aux mêmes ressources que les plus grandes entreprises serricoles possèdent.

Finalement, les aides que l'entreprise serricole pourra recevoir devront être développées pour combler d'une part leur manque de connaissances et d'expertises, et d'autre part pour diminuer leur période de rentabilité à environ trois ans.

Figure 13 : Aspects à connaître et à maîtriser pour réaliser un projet lié à l'utilisation des rejets thermiques



## CONCLUSION

En 2010, la superficie totale de production en serre au Québec était de 262,2 hectares pour 710 entreprises serricoles et une consommation totale d'énergie pour la chauffe estimée à 1 018,0 GWh (production maraîchère : 87,9 hectares, 226 entreprises, consommation d'énergie de 484,3 kWh; production ornementale : 174,3 hectares, 484 entreprises, consommation d'énergie de 533,7 GWh).

Au cours des dernières années, la superficie totale de production a augmenté, mais le nombre d'entreprises a diminué légèrement. C'est surtout la catégorie des entreprises ayant de petites superficies qui ont diminué en nombre. La compétition et la hausse des coûts d'énergie en sont probablement les principales causes. Les productions dites chaudes (exemples : tomates, concombres, poivrons) demandent plus d'énergie pour la chauffe que les productions dites froides (légumes en feuille : laitues et fines herbes, pépinières, ornementales).

Les dépenses énergétiques représentent environ 20 % à 30 % des frais d'exploitation d'une serre. Au niveau énergétique, la chauffe occupe 80 % des dépenses énergétiques. Ainsi, l'industrie serricole est préoccupée par toute hausse des coûts énergétiques et elle cherche des solutions pour diminuer ses coûts ou tout de moins minimiser ces hausses. Dans le but d'améliorer la performance énergétique d'une entreprise serricole, il est important de prendre conscience qu'une serre n'est pas un simple bâtiment, mais avant tout un outil de production.

L'analyse d'actions pour améliorer la performance énergétique et du même coût réduire les coûts énergétiques et l'impact environnemental (exemple : gaz à effet de serre) doit englober tous les aspects de l'entreprise (aspects : humains, agronomiques, ingénieries, financiers et légaux), et tenir compte du plan d'affaires présent et futur de celle-ci. Cette analyse doit aider l'entreprise serricole à :

- Identifier ses besoins et certains paramètres techniques;
- Valider l'action en tenant compte du contexte d'opération;
- Valider l'action au niveau technico-économique;
- Prioriser ses actions.

L'utilisation des rejets thermiques industriels pour réduire les coûts de chauffe est une option possible. Le potentiel énergétique annuel des rejets thermiques est de 77 TWh. Présentement, il y a trois entreprises serricoles au Québec qui utilisent les rejets thermiques. La superficie des serres varie entre 1 858 m<sup>2</sup> et 30 008 m<sup>2</sup>. La démarche d'utilisation des rejets thermiques industriels émane souvent de la proposition d'un industriel d'offrir les rejets thermiques générés par sa propre entreprise à un producteur. Toutefois, un producteur en serre peut également approcher des industriels.

Les températures des fluides des rejets thermiques industriels qui seraient disponibles pour le milieu serricole seront surtout de la catégorie basse température ( $45\text{ °C} \leq T < 100\text{ °C}$ ) et très basse température ( $45 < \text{°C}$ ), ce qui favorise l'utilisation des échangeurs à plaques, à plaque en spirale, et à coquille et tubes comme des choix possibles. Les autres catégories de rejets thermiques ( $T \geq 100\text{ °C}$ ) sont récupérées par l'usine même dans leur processus de production. Pour l'entreprise serricole, il est important de bien

analyser ses besoins énergétiques et de caractériser les rejets thermiques (exemples : type de fluide, température, débit) qu'elle pourrait utiliser. Ces analyses doivent tenir compte de la variation des besoins énergétiques de la serre et de la disponibilité des rejets thermiques sur une base journalière et annuelle ou encore selon les cycles de production présents et anticipés.

L'utilisation des rejets thermiques demande à l'entreprise serricole beaucoup de préparation et d'expertise pour effectuer adéquatement les études technico-économiques, mais aussi de réalisation. Cette expertise peut toucher les différents aspects de l'entreprise serricole (aspects agronomiques, financiers et d'ingénierie) et aussi l'ingénierie spécifique aux rejets thermiques (exemple : conception ou sélection d'un échangeur de chaleur).

Pour réaliser un tel projet, il y a principalement trois parties soient l'entreprise serricole, l'usine fournissant les rejets thermiques et les gouvernements au niveau municipal, provincial et fédéral. Ces derniers peuvent influencer l'intérêt pour ce type de projet par la législation en vigueur et les programmes d'aide. Présentement, il existe des programmes d'aide basés sur la réduction de la consommation des combustibles fossiles.

L'entreprise serricole n'a pas habituellement toutes les connaissances, les expertises et les ressources nécessaires pour réaliser seule un tel projet, et ceci est encore plus marquant pour les petites entreprises serricoles. Il sera important que ces entreprises serricoles soient bien supportées de façon à ce qu'elles puissent bien évaluer leur situation économique, leurs besoins et leurs priorités. Par la suite, il est plus facile pour celle-ci de développer, d'analyser et de prioriser divers scénarios, et ainsi prendre les bonnes décisions tout en facilitant aussi la rédaction d'une entente contractuelle gagnante pour toutes les parties. La démarche présentée dans ce rapport est justement pour aider l'entreprise serricole à réaliser ces étapes, car chaque projet est un cas unique.

Pour réaliser cette démarche, l'entreprise serricole devra intégrer une équipe multidisciplinaire qui peut être composé du personnel de l'entreprise et de ressources externes (exemples : avocats, conseillers financiers, agronomes et ingénieurs œuvrant dans le domaine serricole) pour analyser différents scénarios, mais aussi pour communiquer adéquatement avec les responsables des autres parties et autres firmes qui sont spécialisé dans la conception et l'exécution de projets liés aux rejets thermiques.

Comme le projet comporte un certain niveau de risque (exemples : évolution du marché serricole, disponibilité parfois incertaine dans le temps des rejets thermiques), l'entreprise serricole devra apporter une attention particulière dans la sélection et l'utilisation des paramètres techniques et économiques pour évaluer adéquatement la rentabilité d'un projet de rejets thermiques, et ainsi préserver la viabilité et la pérennité de l'entreprise. Finalement, les aides que l'entreprise serricole pourra recevoir devront être développées pour combler d'une part leur manque de connaissances et de ressources, et d'autre part pour diminuer leur période de rentabilité à environ trois ans.

## ANNEXE A : Profil énergétique de l'industrie serricole québécoise (2010)

Tableau A. 1 : Maraîcher - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	55	6 709 249	-	-	544 971	666 478	58 966	-	-	-	7 979 665	1,6
1 000 à 1 999	81	24 395 715	-	1 065 619	2 387 629	5 353 287	896 227	-	-	-	34 098 477	7,0
2 000 à 4 999	69	44 315 814	4 940 865	2 851 863	5 993 145	22 293 523	1 588 263	324 231	475 000	665 000	83 447 703	17,2
5 000 à 9 999	12	9 066 337	12 482 581	17 449 514	1 622 256	13 252 298	614 352	-	-	-	54 487 337	11,3
10 000 et +	9	12 073 727	93 794 868	117 897 064	946 393	45 416 618	-	18 824 250	-	15 357 938	304 310 856	62,8
<b>Total</b>	<b>226</b>	<b>96 560 841</b>	<b>111 218 314</b>	<b>139 264 060</b>	<b>11 494 393</b>	<b>86 982 203</b>	<b>3 157 809</b>	<b>19 148 481</b>	<b>475 000</b>	<b>16 022 938</b>	<b>484 324 039</b>	<b>100,0</b>

Tableau A. 2 : Ornemental - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	107	10 038 351	-	211 373	425 939	268 113	120 978	12 098	-	-	11 076 852	2,1
1 000 à 1 999	148	39 948 994	-	4 092 381	5 703 235	6 461 974	1 079 914	107 991	85 500	133 000	57 612 991	10,8
2 000 à 4 999	143	86 863 523	-	11 393 737	13 947 394	22 826 423	3 465 573	264 096	71 250	99 750	138 931 746	26,0
5 000 à 9 999	50	52 529 668	5 087 181	28 084 629	2 203 794	19 420 949	2 921 037	208 646	-	-	110 455 904	20,7
10 000 et +	36	23 482 000	26 372 749	146 522 636	5 017 132	9 588 691	1 235 000	2 336 366	522 500	522 500	215 599 575	40,4
<b>Total</b>	<b>484</b>	<b>212 862 536</b>	<b>31 459 930</b>	<b>190 304 757</b>	<b>27 297 494</b>	<b>58 566 151</b>	<b>8 822 503</b>	<b>2 929 197</b>	<b>679 250</b>	<b>755 250</b>	<b>533 677 068</b>	<b>100,0</b>

**Tableau A. 3 : Total - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	162	16 747 600	-	211 373	970 910	934 592	179 944	12 098	-	-	19 056 517	1,9
1 000 à 1 999	229	64 344 709	-	5 158 000	8 090 864	11 815 262	1 976 142	107 991	85 500	133 000	91 711 468	9,0
2 000 à 4 999	212	131 179 336	4 940 865	14 245 600	19 940 539	45 119 946	5 053 836	588 327	546 250	764 750	222 379 449	21,8
5 000 à 9 999	62	61 596 005	17 569 762	45 534 143	3 826 050	32 673 247	3 535 389	208 646	-	-	164 943 241	16,2
10 000 et +	45	35 555 727	120 167 617	264 419 700	5 963 525	55 005 309	1 235 000	21 160 616	522 500	15 880 438	519 910 431	51,1
<b>Total</b>	<b>710</b>	<b>309 423 377</b>	<b>142 678 244</b>	<b>329 568 817</b>	<b>38 791 887</b>	<b>145 548 354</b>	<b>11 980 312</b>	<b>22 077 678</b>	<b>1 154 250</b>	<b>16 778 188</b>	<b>1 018 001 107</b>	<b>100,0</b>

**Tableau A. 4 : Maraîcher - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total
500 à 999	55	84,1%	0,0%	0,0%	6,8%	8,4%	0,7%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
1 000 à 1 999	81	71,5%	0,0%	3,1%	7,0%	15,7%	2,6%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
2 000 à 4 999	69	53,1%	5,9%	3,4%	7,2%	26,7%	1,9%	0,4%	0,6%	0,8%	100,0%
5 000 à 9 999	12	16,6%	22,9%	32,0%	3,0%	24,3%	1,1%	0,0%	0,0%	0,0%	100,0%
10 000 et +	9	4,0%	30,8%	38,7%	0,3%	14,9%	0,0%	6,2%	0,0%	5,0%	100,0%
<b>Total</b>	<b>226</b>										

**Tableau A. 5 : Maraîcher - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres
500 à 999	55	6,9%	0,0%	0,0%	4,7%	0,8%	1,9%	0,0%	0,0%	0,0%
1 000 à 1 999	81	25,3%	0,0%	0,8%	20,8%	6,2%	28,4%	0,0%	0,0%	0,0%
2 000 à 4 999	69	45,9%	4,4%	2,0%	52,1%	25,6%	50,3%	1,7%	100,0%	4,2%
5 000 à 9 999	12	9,4%	11,2%	12,5%	14,1%	15,2%	19,5%	0,0%	0,0%	0,0%
10 000 et +	9	12,5%	84,3%	84,7%	8,2%	52,2%	0,0%	98,3%	0,0%	95,8%
<b>Total</b>	<b>226</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>						

**Tableau A. 6 : Ornemental - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total
500 à 999	107	90,6%	0,0%	1,9%	3,8%	2,4%	1,1%	0,1%	0,0%	0,0%	100,0%
1 000 à 1 999	148	69,3%	0,0%	7,1%	9,9%	11,2%	1,9%	0,2%	0,1%	0,2%	100,0%
2 000 à 4 999	143	62,5%	0,0%	8,2%	10,0%	16,4%	2,5%	0,2%	0,1%	0,1%	100,0%
5 000 à 9 999	50	47,6%	4,6%	25,4%	2,0%	17,6%	2,6%	0,2%	0,0%	0,0%	100,0%
10 000 et +	36	10,9%	12,2%	68,0%	2,3%	4,4%	0,6%	1,1%	0,2%	0,2%	100,0%
<b>Total</b>	<b>484</b>										

**Tableau A. 7 : Ornemental - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres
500 à 999	107	4,7%	0,0%	0,1%	1,6%	0,5%	1,4%	0,4%	0,0%	0,0%
1 000 à 1 999	148	18,8%	0,0%	2,2%	20,9%	11,0%	12,2%	3,7%	12,6%	17,6%
2 000 à 4 999	143	40,8%	0,0%	6,0%	51,1%	39,0%	39,3%	9,0%	10,5%	13,2%
5 000 à 9 999	50	24,7%	16,2%	14,8%	8,1%	33,2%	33,1%	7,1%	0,0%	0,0%
10 000 et +	36	11,0%	83,8%	77,0%	18,4%	16,4%	14,0%	79,8%	76,9%	69,2%
<b>Total</b>	<b>484</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>						

**Tableau A. 8 : Total - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par catégorie d'entreprise (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total
500 à 999	162	87,9%	0,0%	1,1%	5,1%	4,9%	0,9%	0,1%	0,0%	0,0%	100,0%
1 000 à 1 999	229	70,2%	0,0%	5,6%	8,8%	12,9%	2,2%	0,1%	0,1%	0,1%	100,0%
2 000 à 4 999	212	59,0%	2,2%	6,4%	9,0%	20,3%	2,3%	0,3%	0,2%	0,3%	100,0%
5 000 à 9 999	62	37,3%	10,7%	27,6%	2,3%	19,8%	2,1%	0,1%	0,0%	0,0%	100,0%
10 000 et +	45	6,8%	23,1%	50,9%	1,1%	10,6%	0,2%	4,1%	0,1%	3,1%	100,0%
<b>Total</b>	<b>710</b>										

**Tableau A. 9 : Total - Répartition de l'énergie brute totale consommée pour la chauffe par source d'énergie (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres
500 à 999	162	5,4%	0,0%	0,1%	2,5%	0,6%	1,5%	0,1%	0,0%	0,0%
1 000 à 1 999	229	20,8%	0,0%	1,6%	20,9%	8,1%	16,5%	0,5%	7,4%	0,8%
2 000 à 4 999	212	42,4%	3,5%	4,3%	51,4%	31,0%	42,2%	2,7%	47,3%	4,6%
5 000 à 9 999	62	19,9%	12,3%	13,8%	9,9%	22,4%	29,5%	0,9%	0,0%	0,0%
10 000 et +	45	11,5%	84,2%	80,2%	15,4%	37,8%	10,3%	95,8%	45,3%	94,6%
<b>Total</b>	<b>710</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>	<b>100,0%</b>						

**Tableau A. 10 : Maraîcher - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	55	121 986	-	-	9 909	12 118	1 072	-	-	-	2 638	0,1
1 000 à 1 999	81	301 182	-	13 156	29 477	66 090	11 065	-	-	-	5 197	0,1
2 000 à 4 999	69	642 258	71 607	41 331	86 857	323 095	23 018	4 699	6 884	9 638	17 527	0,4
5 000 à 9 999	12	755 528	1 040 215	1 454 126	135 188	1 104 358	51 196	-	-	-	378 384	9,1
10 000 et +	9	1 341 525	10 421 652	13 099 674	105 155	5 046 291	-	2 091 583	-	1 706 438	3 756 924	90,3
<b>Total</b>		<b>3 162 479</b>	<b>11 533 474</b>	<b>14 608 287</b>	<b>366 585</b>	<b>6 551 951</b>	<b>86 351</b>	<b>2 096 282</b>	<b>6 884</b>	<b>1 716 075</b>	<b>4 160 671</b>	<b>100,0</b>

**Tableau A. 11 : Ornemental - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	107	93 816	-	1 975	3 981	2 506	1 131	113	-	-	967	0,4
1 000 à 1 999	148	269 926	-	27 651	38 535	43 662	7 297	730	578	899	2 630	1,2
2 000 à 4 999	143	607 437	-	79 676	97 534	159 625	24 235	1 847	498	698	6 794	3,1
5 000 à 9 999	50	1 050 593	101 744	561 693	44 076	388 419	58 421	4 173	-	-	44 182	20,0
10 000 et +	36	652 278	732 576	4 070 073	139 365	266 353	34 306	64 899	14 514	14 514	166 358	75,3
<b>Total</b>		<b>2 674 050</b>	<b>834 320</b>	<b>4 741 069</b>	<b>323 491</b>	<b>860 565</b>	<b>125 388</b>	<b>71 762</b>	<b>15 590</b>	<b>16 110</b>	<b>220 932</b>	<b>100,0</b>

**Tableau A. 12 : Total - Énergie brute moyenne consommée par entreprise exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises	Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
		kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	162	215 803	-	1 975	13 889	14 624	2 203	113	-	-	3 605	0,1
1 000 à 1 999	229	571 107	-	40 807	68 012	109 752	18 361	730	578	899	7 827	0,2
2 000 à 4 999	212	1 249 695	71 607	121 008	184 391	482 720	47 253	6 546	7 382	10 335	24 321	0,6
5 000 à 9 999	62	1 806 121	1 141 959	2 015 819	179 264	1 492 777	109 617	4 173	-	-	422 567	9,6
10 000 et +	45	1 993 803	11 154 228	17 169 747	244 520	5 312 643	34 306	2 156 482	14 514	1 720 951	3 923 282	89,5
<b>Total</b>		<b>5 836 530</b>	<b>12 367 794</b>	<b>19 349 356</b>	<b>690 076</b>	<b>7 412 516</b>	<b>211 739</b>	<b>2 168 044</b>	<b>22 474</b>	<b>1 732 185</b>	<b>4 381 603</b>	<b>100,0</b>

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

**Tableau A. 13 : Différence de la consommation moyenne d'énergie par entreprise entre les serres maraîchères et les serres ornementales selon la source d'énergie et la catégorie d'entreprise (2010)**

Catégorie d'entreprise selon la superficie en m <sup>2</sup>	Nombre d'entreprises		Mazout léger	Mazout lourd	Gaz naturel	Propane	Biomasse	Électricité	Résiduelle Éclairage	Géothermie	Autres	Total	Répartition
	Maraîchère	Ornementale	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	%
500 à 999	55	107	28 170	-	(1 975)	5 928	9 612	(59)	(113)	-	-	1 670	0,0
1 000 à 1 999	81	148	31 256	-	(14 495)	(9 058)	22 428	3 768	(730)	(578)	(899)	2 567	0,1
2 000 à 4 999	69	143	34 821	71 607	(38 345)	(10 677)	163 469	(1 216)	2 852	6 386	8 940	10 733	0,3
5 000 à 9 999	12	50	(295 065)	938 471	892 434	91 112	715 939	(7 225)	(4 173)	-	-	334 202	8,5
10 000 et +	9	36	689 247	9 689 076	9 029 601	(34 210)	4 779 938	(34 306)	2 026 684	(14 514)	1 691 924	3 590 566	91,1
<b>Total</b>	<b>226</b>	<b>484</b>	<b>488 429</b>	<b>10 699 154</b>	<b>9 867 218</b>	<b>43 094</b>	<b>5 691 387</b>	<b>(39 037)</b>	<b>2 024 521</b>	<b>(8 706)</b>	<b>1 699 965</b>	<b>3 939 739</b>	<b>100,0</b>

## ANNEXE B : Températures d'exception à 1 %

Ville	Température d'exception à 1 %
	°C
<b>Alma</b>	-32
<b>Amos</b>	-36
<b>Asbestos</b>	-28
<b>Baie-Comeau</b>	-29
<b>Chicoutimi</b>	-32
<b>Drummondville</b>	-28
<b>Gaspé</b>	-25
<b>Gatineau</b>	-28
<b>Granby</b>	-27
<b>Joliette</b>	-28
<b>La Malbaie</b>	-28
<b>Magog</b>	-28
<b>Mégantic</b>	-29
<b>Mont-Joli</b>	-26
<b>Mont-Laurier</b>	-32
<b>Montréal</b>	-26
<b>Noranda</b>	-36
<b>Normandin</b>	-33
<b>Percé</b>	-25
<b>Plessisville</b>	-28
<b>Québec</b>	-28
<b>Rimouski</b>	-27
<b>Roberval</b>	-33
<b>St-Hyacinthe</b>	-27
<b>St-Jean sur Richelieu</b>	-26
<b>Schefferville</b>	-40
<b>Sept-îles</b>	-32
<b>Sherbrooke</b>	-30
<b>Sorel</b>	-27
<b>Témiscamingue</b>	-32
<b>Trois-Rivières</b>	-28
<b>Thurso</b>	-28
<b>Val d'Or</b>	-36
<b>Valleyfield</b>	-25
<b>Victoriaville</b>	-28

## ANNEXE C : Lexique – Termes utilisés dans le domaine de la gestion énergétique

**amélioration continue** : processus récurrent dont résulte une amélioration de la performance énergétique et du système de management de l'énergie (1).

**audit énergétique** : examen et analyse méthodiques de l'usage et de la consommation énergétiques d'un site, bâtiment, système ou organisme, ayant pour objet d'identifier les flux énergétiques et les potentiels d'amélioration de l'efficacité énergétique et d'en rendre compte (2).

**auditeur énergétique** : personne, groupe ou organisme qui réalise un audit énergétique. Note : un groupe ou un organisme peut inclure des sous-traitants (2).

**consommation de référence** : référence(s) quantifiée(s) servant de base pour la comparaison de performances énergétiques (1).

**consommation énergétique** : quantité d'énergie utilisée (1).

**efficacité énergétique** : ratio, ou autre relation quantitative, entre une performance, un service, un bien ou une énergie produits et un apport en énergie (1).

**facteur d'ajustement** : paramètre quantifiable influant sur la consommation énergétique. Exemple : conditions climatiques, paramètres en rapport avec le comportement des personnes (température intérieure, niveau d'éclairage), durée du travail, production par unité de temps, etc. (2).

**indicateur de performance énergétique (IPÉ)** : valeur quantitative ou mesure de la performance énergétique, définie par l'organisme. Note : les IPÉ pourraient être exprimés sous la forme d'une mesure simple, d'un ratio ou d'un modèle plus complexe (1).

**intensité énergétique** : l'intensité énergétique mesure la quantité d'énergie utilisée par unité de production (5) – Quantité d'énergie nécessaire pour produire une unité de richesse (6).

**management** : désigne l'ensemble des techniques de planification, d'organisation, de direction et de contrôle mises en œuvre dans une organisation afin qu'elle atteigne ses objectifs (1).

**mesure d'amélioration de l'efficacité énergétique** : quantité d'énergie économisée déterminée en mesurant et/ou en estimant la consommation avant et après la mise en œuvre d'une ou de plusieurs mesures d'amélioration de l'efficacité énergétique tout en assurant la normalisation des facteurs qui influent sur la consommation énergétique (2).

**objectif énergétique** : résultat ou réalisation spécifique fixé(e) pour satisfaire la politique énergétique de l'organisme en matière d'amélioration de la performance énergétique (1).

**objet audité** : bâtiment, équipement, système, procédé, véhicule ou service faisant l'objet de l'audit énergétique (2).

**organisme** : personne physique ou morale qui possède, exploite, utilise ou gère l'objet ou les objets audités (2).

**performance énergétique** : résultats mesurables liés à l'efficacité énergétique, à l'usage énergétique et à la consommation énergétique (1).

**politique énergétique** : expression formelle par la direction d'un organisme des intentions et orientations générales de celui-ci concernant sa performance énergétique. Note : la politique énergétique constitue un cadre d'action et de définition des objectifs et cibles énergétiques (1).

**procédure** : manière spécifiée d'effectuer une activité ou un processus (1).

**système de management de l'énergie (SMÉ)** : ensemble d'éléments corrélés ou interactifs permettant d'élaborer une politique et des objectifs énergétiques ainsi que des processus et procédures pour atteindre ces objectifs (1).

**usage énergétique significatif** : usage énergétique représentant une part importante de la consommation d'énergie et/ou offrant un potentiel considérable d'amélioration de performance énergétique (1).

**usage énergétique** : mode ou type d'utilisation de l'énergie (exemple : chauffage, ventilation, déshumidification, éclairage) (1).

## ANNEXE D : Firme de référence pour la réalisation des mandats

La réalisation d'étude complète, d'installation et de la mise en marche d'un projet telle que les rejets thermiques peut être effectuée par les firmes de génie-conseil suivantes<sup>65</sup>. Cette liste n'est pas complète ni exhaustive et est fournie qu'à titre indicatif pour aider le producteur à trouver une source fiable dans la réalisation de ses projets. Les domaines d'expertises inclus ne sont d'ailleurs pas exclusifs.

L'entreprise serricole peut aussi contacter le Syndicat des Producteurs en Serre du Québec pour d'autres références qui ont de l'expérience dans le domaine serricole québécois. Ces références pourront faire le pont entre ces firmes de génie-conseil et l'entreprise serricole pour analyser entre autres les besoins de chauffe et la pertinence d'un tel projet tout en tenant compte du contexte d'opération des serres et des systèmes déjà en place.

---

<sup>65</sup> Source : Projet d'utilisation des rejets thermiques dans la production serricole (rapport d'expertise – Projet ESA033) – p. 32.

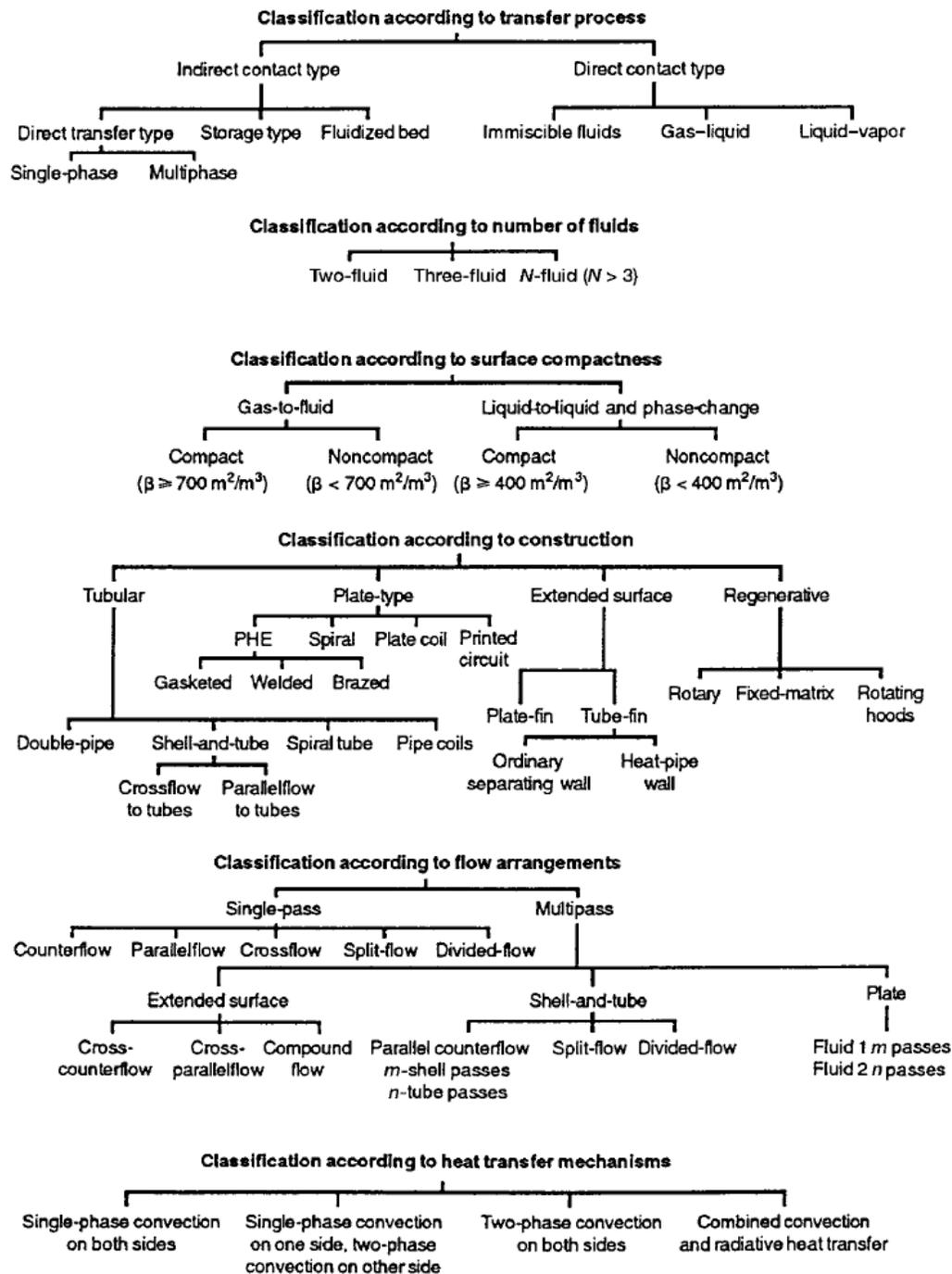
Firmes	Domaine d'expertise	Site web
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet d'études complet</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Accompagnement</li> <li>Garantie des économies</li> </ul>	<p>ameresco.ca</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Accompagnement</li> </ul>	<p>bpa.ca</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Accompagnement</li> <li>Mise en place et mesurage</li> </ul>	<p>econoler.ca</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Consultation</li> <li>Accompagnement et évaluation politique</li> </ul>	<p>ecoressources.com</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Garantie des économies</li> <li>Mise en place et mesurage</li> </ul>	<p>ecosystem.ca</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet d'études complet</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Mise en place et mesurage</li> </ul>	<p>ener21.com</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet d'études complet</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Mise en place et mesurage</li> <li>Développement de produits</li> <li>Fabrication de pièces sur mesure</li> </ul>	<p>energiesolutionsassociates.com</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Génie-conseil</li> <li>Projet sur mesure</li> <li>Accompagnement</li> <li>Mise en place et mesurage</li> </ul>	<p>genivar.com</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fusion de 4 entreprises complémentaires spécialisées dans les domaines de l'énergie</li> </ul>	<p>m3denergie.com</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Système de combustion sur mesure autonome</li> <li>Calculs thermiques</li> </ul>	<p>nexxenergie.com</p>

## ANNEXE E : Liste des propriétés thermo physique d'intérêt

Nom de la propriété <sup>66</sup>	Description et effet	Unités
<b>Viscosité (<math>\mu</math>)</b>	Plus la viscosité dynamique du fluide est élevée, il s'en suit une diminution du nombre de Reynolds dans l'écoulement. Cette diminution annonce une turbulence plus faible.	<b>N·s/m<sup>2</sup></b>
<b>Chaleur massique (<math>C_p</math>)</b>	La chaleur massique est la capacité du liquide à emmagasiner de l'énergie pour chaque Kelvin de température. Un rejet thermique d'eau, même à basse température, sera souvent d'intérêt pour un chauffage éventuel d'installation serricole à cause de sa chaleur massique très élevée.	<b>J/kg·K</b>
<b>Température (Kelvin)</b>	La température peut s'exprimer en Celsius (°C) ou en Kelvin (K); la relation entre les deux mesures est : $K = C + 273,15$ . Lors du calcul des effets de radiation, la température requise est toujours exprimée en Kelvin. Le Celsius est aussi approprié pour les calculs d'échanges thermiques dans les échangeurs.	<b>K</b>
<b>Pression statique (<math>P_s</math>)</b>	La pression statique d'un système est l'énergie que les ventilateurs ou le système de pompage doivent surmonter pour forcer le déplacement des liquides à un débit établi. Plus la pression statique est élevée, plus la dimension du système de pompage augmente et les coûts d'opération deviennent importants.	<b>Pa</b>
<b>Débit (<math>Q</math>)</b>	Le débit consiste en une mesure du volume de matières qui traverse une section transversale de l'échangeur lorsque le régime permanent est atteint. Une augmentation du débit permet d'échanger une plus grande quantité d'énergie.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Masse volumique (<math>\rho</math>)</b>	Quantité de matière par unité de volume spécifique à un élément. La masse volumique ( $\rho$ ) peut varier en fonction de la température.	<b>Kg/m<sup>3</sup></b>
<b>Humidité relative (%)</b>	Constitue le rapport d'eau dans un écoulement d'air en pourcentage de la capacité maximale de rétention pour une température donnée. Un écoulement d'air chargé d'une humidité relative élevée contient un potentiel énergétique supérieur à cause de la chaleur de vaporisation de l'eau contenue dans l'air.	<b>%</b>
<b>Conduction (<math>k</math>)</b>	Plus la conduction d'un matériel est élevée, meilleur sera le taux de transfert pour une même épaisseur de paroi.	<b>W/m</b>
<b>Convection (<math>h</math>)</b>	Plus le coefficient de convection est élevé plus les performances d'échanges thermiques sont importantes.	<b>W/m<sup>2</sup></b>
<b>Chaleur de vaporisation (<math>h_{fg}</math>)</b>	<b>Énergie latente du fluide en utilisation, plus la chaleur de vaporisation est élevée, plus le changement de phase contiendra un potentiel d'énergie important qui sera récupéré une fois le point critique d'opération atteint.</b>	<b>KJ/Kg</b>

<sup>66</sup> Source : Projet d'utilisation des rejets thermiques dans la production serricole (rapport d'expertise – Projet ESA033) – p. 18.

## ANNEXE F : Classification des échangeurs de chaleur selon diverses particularités (Shah, 1981)



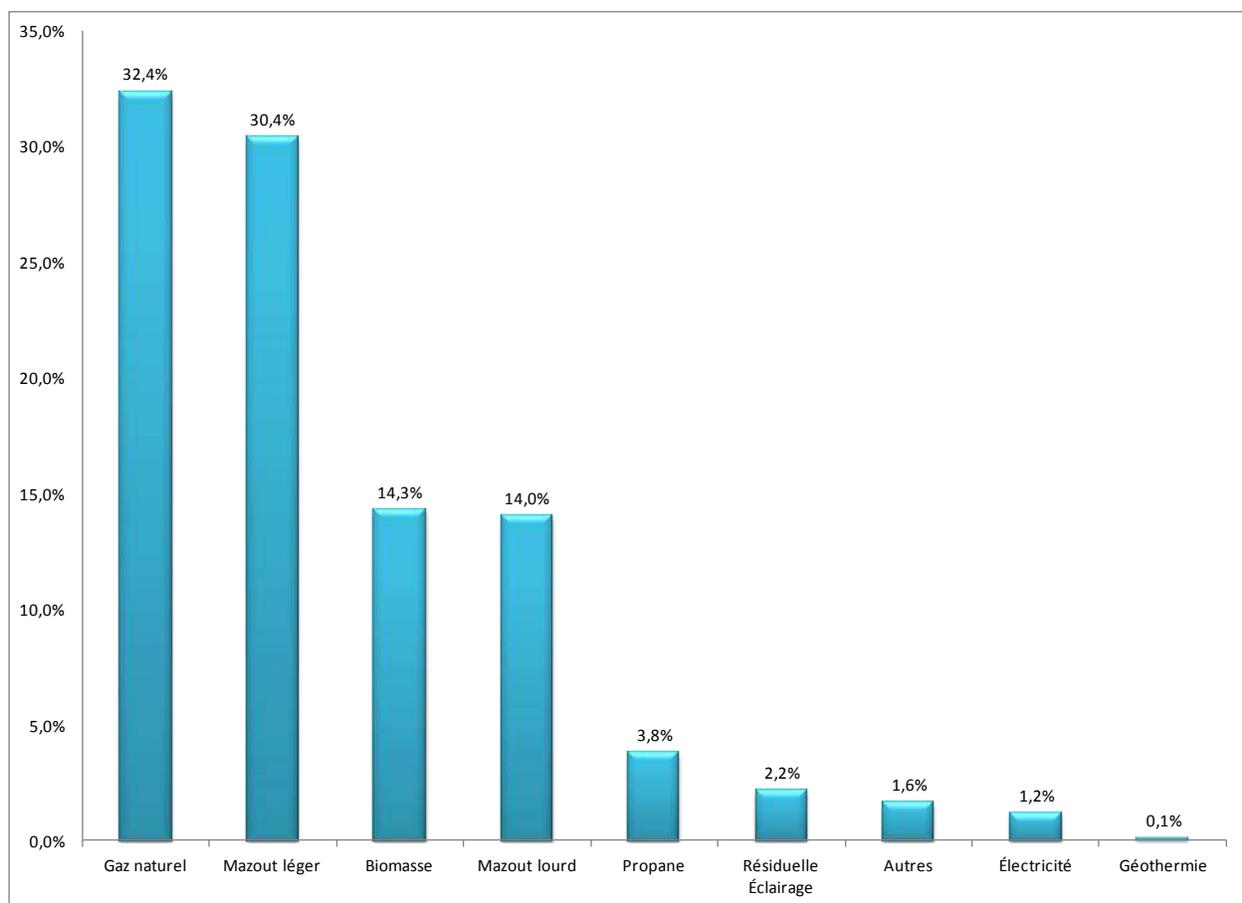
Source : Fundamentals of heat exchanger design – © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. – p. 2

## **ANNEXE G : Description des équipements consommateurs d'énergie**

## G. Évolution des consommations d'énergie des entreprises serricoles au Québec

Les systèmes de génération de chaleur utilisés dans le secteur serricole québécois sont en lien direct avec les sources d'énergie utilisées. Le **Graphique G. 1** présente le taux de consommation de diverses sources d'énergie utilisées dans le secteur serricole québécois en 2010. Ce graphique est basé sur les données du **Tableau A. 3 : Total - Énergie brute totale consommée exprimée en kWh pour la chauffe selon la source utilisée (2010)**. Il est important de noter qu'une entreprise serricole peut utiliser plus d'une source d'énergie pour répondre à ses besoins de chauffe.

**Graphique G. 1 : Taux de consommation de diverses sources d'énergie utilisées pour la chauffe dans le secteur serricole québécois en 2010**



Les données statistiques sur l'évolution et l'utilisation de diverses sources d'énergie dans le secteur serricole québécois demeurent limitées. Toutefois, en combinant les dépenses énergétiques des entreprises serricoles québécoises et le coût moyen annuel et unitaire d'une source d'énergie, le **Tableau G. 1** présente l'évolution des dépenses et des consommations énergétiques des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011.

Il a été possible d'évaluer la consommation d'énergie seulement pour le gaz naturel et le mazout léger, car les informations pour l'électricité et les autres sources d'énergie n'étaient pas disponibles. Toutefois, le gaz naturel et le mazout léger demeurent en 2013 les principales sources d'énergie utilisées par les entreprises serricoles québécoises.

Du tableau **Tableau G. 1**, on s'aperçoit que depuis quelques années, le nombre d'entreprises serricoles au Québec a diminué, mais que la superficie totale de production des serres a augmenté. Dans les faits, le nombre d'entreprises serricoles ayant de petites superficies a diminué, tandis que les entreprises serricoles ayant de grandes superficies ont augmenté leur superficie de production.

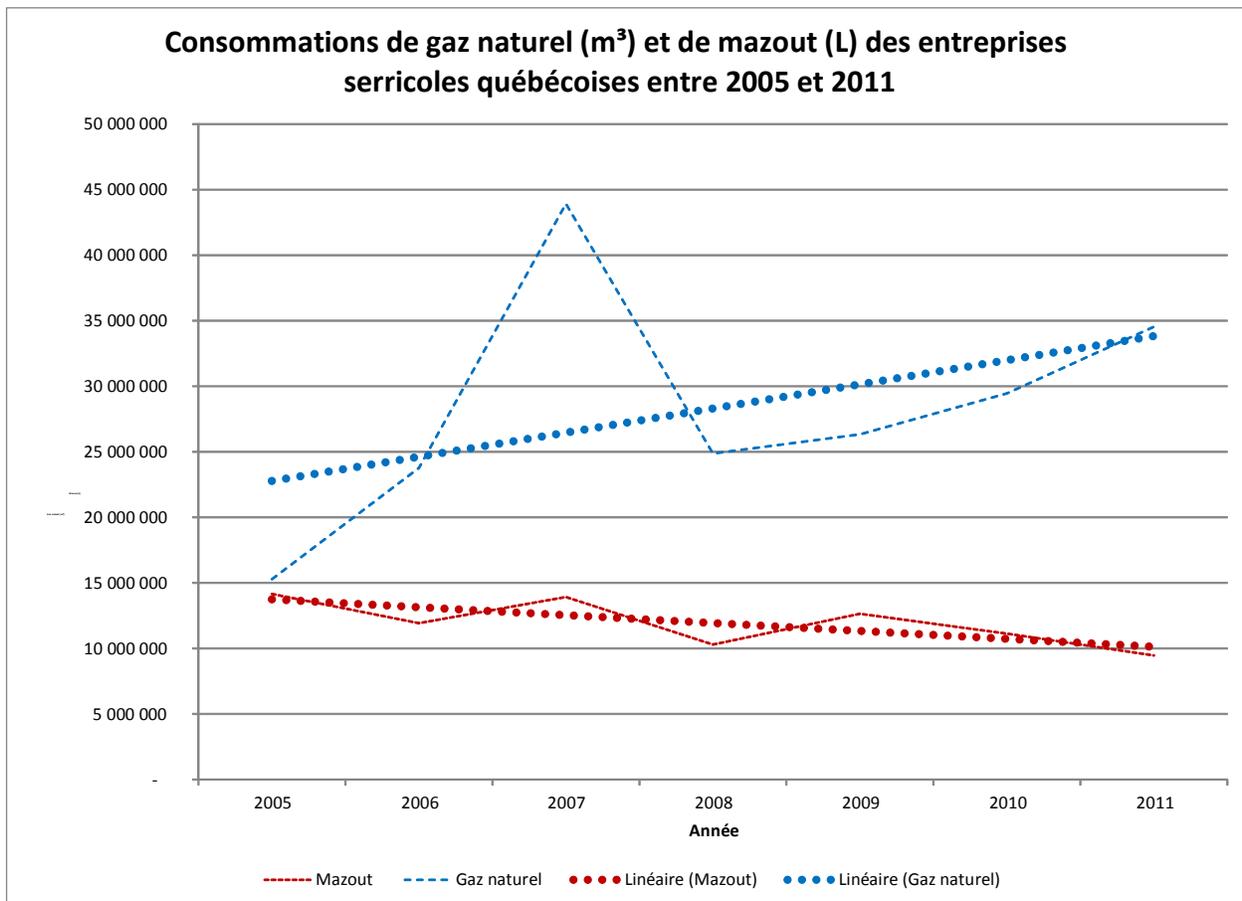
**Tableau G. 1 : Dépenses et consommations énergétiques des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011**

Année	Nombre de serres	Superficie m <sup>2</sup>	Gaz naturel	Gaz naturel	Mazout léger	Mazout léger	Électricité	Autres
			\$	m <sup>3</sup>	\$	L	\$	\$
2005	775	2 351 700	6 893 400 \$	15 275 386	10 760 600 \$	14 142 402	n.d.	6 673 000 \$
2006	700	2 597 103	11 600 000 \$	23 762 376	9 400 000 \$	11 922 630	n.d.	5 500 000 \$
2007	800	2 486 270	10 500 000 \$	43 919 272	11 500 000 \$	13 913 394	n.d.	7 137 000 \$
2008	740	2 502 444	10 909 300 \$	24 858 364	11 574 190 \$	10 299 231	9 046 990 \$	6 860 450 \$
2009	730	2 560 347	10 145 510 \$	26 325 762	9 757 400 \$	12 643 213	6 987 830 \$	5 737 650 \$
2010	710	2 622 024	10 952 790 \$	29 446 282	9 993 200 \$	11 127 252	6 782 110 \$	5 959 740 \$
2011	690	2 734 197	11 384 080 \$	34 529 475	10 735 530 \$	9 458 964	6 707 290 \$	4 927 735 \$

Source : Statistiques Canada – Adaptation : CIDES inc.

Le **Graphique G. 2** présente l'évolution de la consommation de gaz naturel et de mazout léger des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011. Le graphique démontre que la consommation de gaz naturel est à la hausse, tandis que celui du mazout est à la baisse. Ceci s'explique du fait que les grandes entreprises utilisent surtout le gaz naturel et que celles-ci sont en expansion. Tandis que les petites entreprises utilisent surtout le mazout léger et leurs nombres sont en diminution.

**Graphique G. 2 : Évolution et tendance de la consommation de gaz naturel et de mazout léger des entreprises serricoles québécoises entre 2005 et 2011**



Source : CIDES inc.

Les sous-sections de cette annexe vont présenter les principales caractéristiques des systèmes de génération et de distribution de chaleur utilisés dans le domaine serricole québécois (section **G.1 : Descriptions des systèmes de génération de chaleur** et section **G.2 : Description des systèmes de distribution de chaleur**). Aussi, certains concepts et éléments qui font partie d'un système de chauffe seront aussi traités (section **G.3 : Autres éléments**). L'emphase sera mise sur les systèmes de chauffe au gaz naturel, au mazout et à la biomasse.

Il est à noter que le Syndicat des producteurs en serre du Québec (SPSQ) a publié une fiche qui présente une démarche pour implanter un système de chauffe. Cette fiche est disponible sur le site Internet d'Agri-Réseau<sup>67</sup>.

## **G.1 : Descriptions des systèmes de génération de chaleur**

### **G.1.1 : Types d'appareils**

Pour répondre aux besoins de chauffe des serres, les entreprises serricoles québécoises peuvent utiliser un système de génération de chaleur centralisé ou décentralisé. Toutefois, il peut arriver qu'une entreprise serricole utilise les deux types de système sur un même site.

Un système de génération de chaleur décentralisé est l'utilisation d'un ou plusieurs appareils de génération de chaleur localisés dans une même serre (individuelle ou jumelée). Ainsi, chaque serre a son propre système de génération et de distribution de chaleur. Ces appareils de génération de chaleur peuvent être localisés au niveau du sol ou suspendus dans les airs. Les systèmes décentralisés peuvent être des fournaies à air chaud ou des chaudières à eau chaude.

Un système centralisé est l'utilisation d'un ou plusieurs appareils de génération de chaleur localisés dans un seul bâtiment pour répondre aux besoins de chauffe d'une ou plusieurs serres (individuelle ou encore jumelée)<sup>68 69</sup>. Le bâtiment est généralement adjacent aux serres. Ainsi, un seul système de distribution de chaleur est utilisé pour distribuer la chaleur générée. Comme les dimensions d'un système centralisé sont assez grandes, celui-ci est installé au niveau du sol. Un système centralisé utilise l'eau comme fluide calorporteur.

#### Flexibilité

Il est fréquent qu'un modèle de fournaise ou de chaudière puisse être conçu pour être utilisé pour diverses sources d'énergie. Pour ce faire, la compagnie va adapter le brûleur. Par exemple, la compagnie Hurst Boiler & Welding Co. Inc. offre à leur client un modèle de chaudière (série LPW) qui peut être opéré avec du propane, du gaz naturel, du mazout n° 2 ou une combinaison « Gaz naturel - Mazout no.2 ».

#### Système de chauffe à la vapeur d'eau

Les entreprises serricoles québécoises n'utilisent pas à notre connaissance la vapeur d'eau pour chauffer les serres. En effet, ce type de système est plus dispendieux et surtout plus complexe à opérer (exemples : permis, maintenance, besoin de personnels spécialisés). À notre connaissance, les

<sup>67</sup> <http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/Chauffage.pdf>

<sup>68</sup> Le système de chauffe d'urgence ou de sécurité va être intégré au système de chauffe centralisé.

<sup>69</sup> La plupart du temps, les systèmes centralisés vont surtout alimenter des serres jumelées. Dans un parc de serres individuelles, la plupart des entreprises serricoles vont utiliser un système de génération de chaleur décentralisé.

entreprises serricoles québécoises n'anticipent pas l'utilisation de cette technologie dans les années à venir.

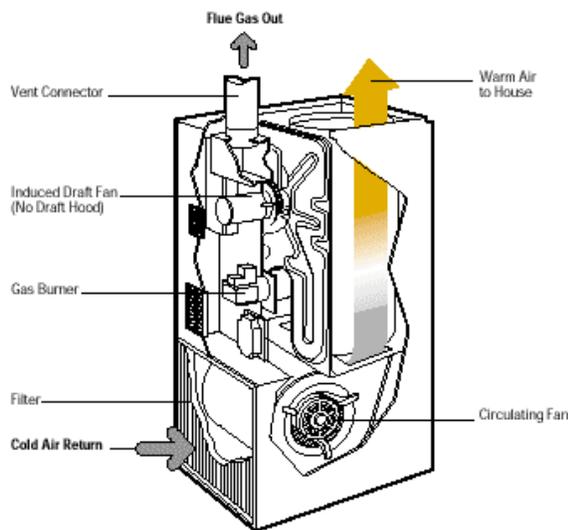
### Système à condensation

Les fournaies et les chaudières à condensation sont de plus en plus utilisées dans les entreprises serricoles. Ce type d'appareil sera traité brièvement aux sections **G.1.2 : Gaz naturel**, **G.1.3 : Mazout léger** et **G.3.2 : Fournaies et bouilloires à condensation à haute efficacité**.

#### **G.1.2 : Gaz naturel**

Le gaz naturel répond à 32,4 % des besoins de chauffe des serres au Québec, malgré le fait que celui-ci ne soit pas disponible dans toutes les régions<sup>70</sup>. Les appareils au gaz naturel peuvent être des fournaies (**Figure G. 1**) ou des chaudières (**Figure G. 3** et **Figure G. 4**). Les fournaies et les chaudières à condensation sont aussi de plus en plus utilisées (**Figure G. 2**).

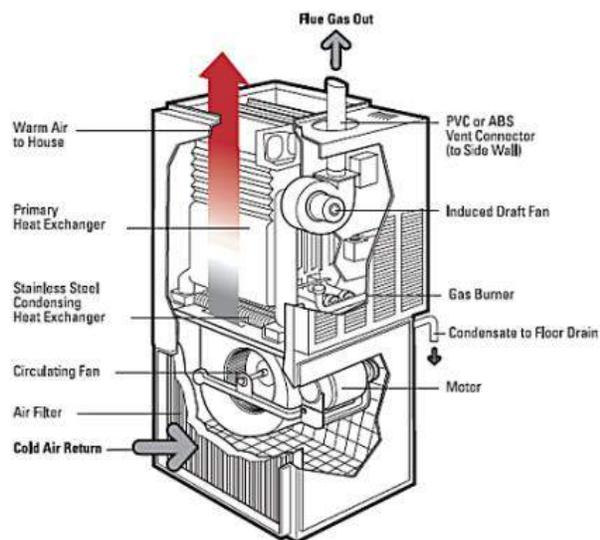
**Figure G. 1 : Fournaise à air chaud**



Source : Ressources Naturelles Canada

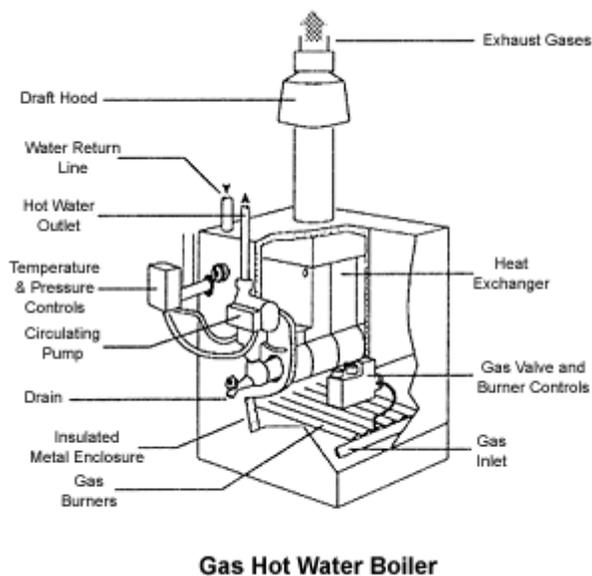
<sup>70</sup> Il serait possible de distribuer le gaz naturel sous forme liquéfiée (GNL) ou encore comprimée (GNC). En effet, Gaz Métro le fait présentement pour certaines entreprises qui alimentent leurs véhicules avec le gaz naturel. Présentement, certaines démarches sont en cours pour voir la possibilité d'offrir le gaz naturel de cette façon aux producteurs serricoles.

**Figure G. 2 : Fournaise à air chaud à condensation**



Source : Ressources Naturelles Canada

**Figure G. 3 : Chaudière (système décentralisé)**

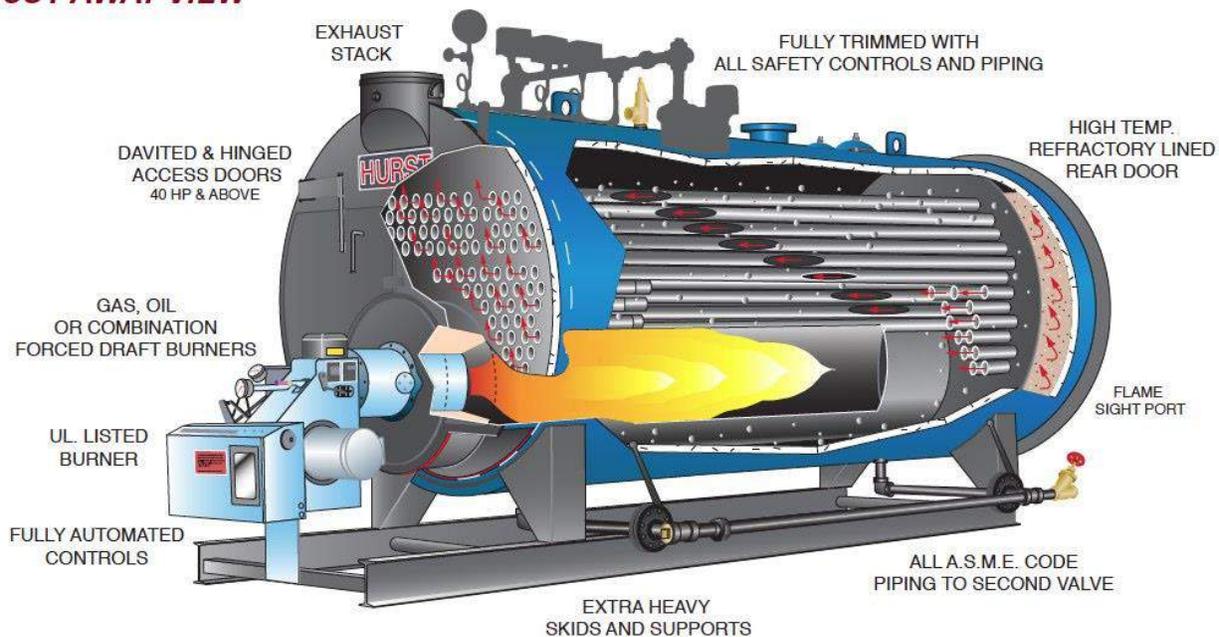


**Gas Hot Water Boiler**

Source : Fortis BC

Figure G. 4 : Chaudière (système centralisé)

**CUT AWAY VIEW**



Source : Hurst Boiler & Welding Co., Inc. - Scotch Marine (Series 200)

Les entreprises serricoles qui utilisent le gaz naturel peuvent être de petites ou de grandes tailles. Les systèmes installés sont surtout décentralisés.

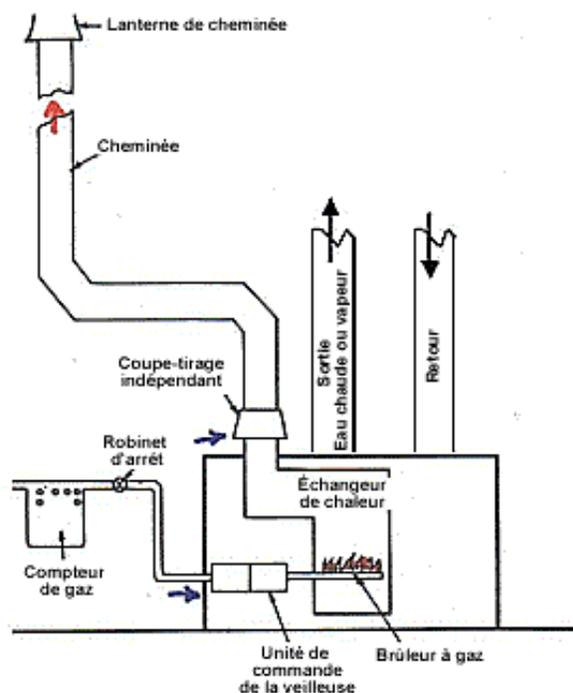
La plupart des entreprises serricoles utilisent des fournaies ou des chaudières au gaz naturel de type « unité intégré ». C'est-à-dire que les appareils incluent dans le même boîtier le brûleur, le système d'allumage, les contrôles et l'échangeur de chaleur.

Pour opérer les fournaies ou les chaudières, divers types de système de contrôle peuvent être utilisés. Les systèmes de contrôle seront traités dans la section **G.3.1 : Systèmes de contrôle**.

Le gaz naturel est aussi utilisé pour générer du CO<sub>2</sub>. La génération du CO<sub>2</sub> provient de la combustion du gaz naturel. La génération et l'utilisation du CO<sub>2</sub> seront traitées dans la section **G.1.7.7 : Générateur de CO<sub>2</sub>**.

Au niveau des opérations, ce sont des systèmes faciles à opérer et à maintenir. Les appareils des systèmes décentralisés sont parmi les plus compacts. Il est recommandé d'utiliser des échangeurs de chaleur résistant au milieu humide. La fournaie ou encore la chaudière doit être compatible avec le type de système de distribution de chaleur que l'entreprise serricole désire utiliser. La **Figure G. 5** présente une vue d'ensemble d'une chaudière typique au gaz naturel.

**Figure G. 5 : Schéma typique d'une chaudière au gaz naturel**



Source : extrait du site Internet de « Ressources naturelles Canada » (avril 2013)

### G.1.3 : Mazout léger

Le mazout léger répond à 30,4 % des besoins de chauffe des serres au Québec. Il est la source d'énergie la plus utilisée dans les régions où le gaz naturel n'est pas disponible. On peut s'attendre à ce que le nombre d'unités au mazout léger diminue avec les années par le développement du réseau gazier et de la biomasse. Les appareils au mazout léger peuvent être des fournaies (**Figure G. 6** et **Figure G. 7**) ou des chaudières (**Photo G. 8**, **Figure G. 9** et **Figure G. 10**). Les fournaies et les chaudières à condensation existent depuis plusieurs années, mais elles sont moins performantes et durables que celles au gaz naturel. De nouvelles fournaies et chaudières mises sur le marché récemment semblent avoir corrigé les lacunes du passé. Cependant, il est trop tôt pour savoir si les résultats seront au rendez-vous (5).

Présentement, la majorité des utilisateurs des systèmes au mazout léger sont des entreprises serrioles de petite taille utilisant des systèmes décentralisés de type « unité intégré ».

Les fournaies au mazout léger disponibles en Amérique du Nord auraient une puissance maximale de 123 kW (420 000 BTU/h) et seraient de type « unité intégré » (6). C'est-à-dire que les appareils incluent dans le même boîtier le brûleur, le système d'allumage, les contrôles et l'échangeur de chaleur.

La majorité des chaudières au mazout léger ayant une puissance inférieure à 1 464 kW (5 000 000 BTU/h) sont de type « unité intégrée ». Si une entreprise quelconque utilise une chaudière de plus de 1 464 kW (5 000 000 BTU/h), celle-ci va utiliser une chaudière de type « système »<sup>71</sup>.

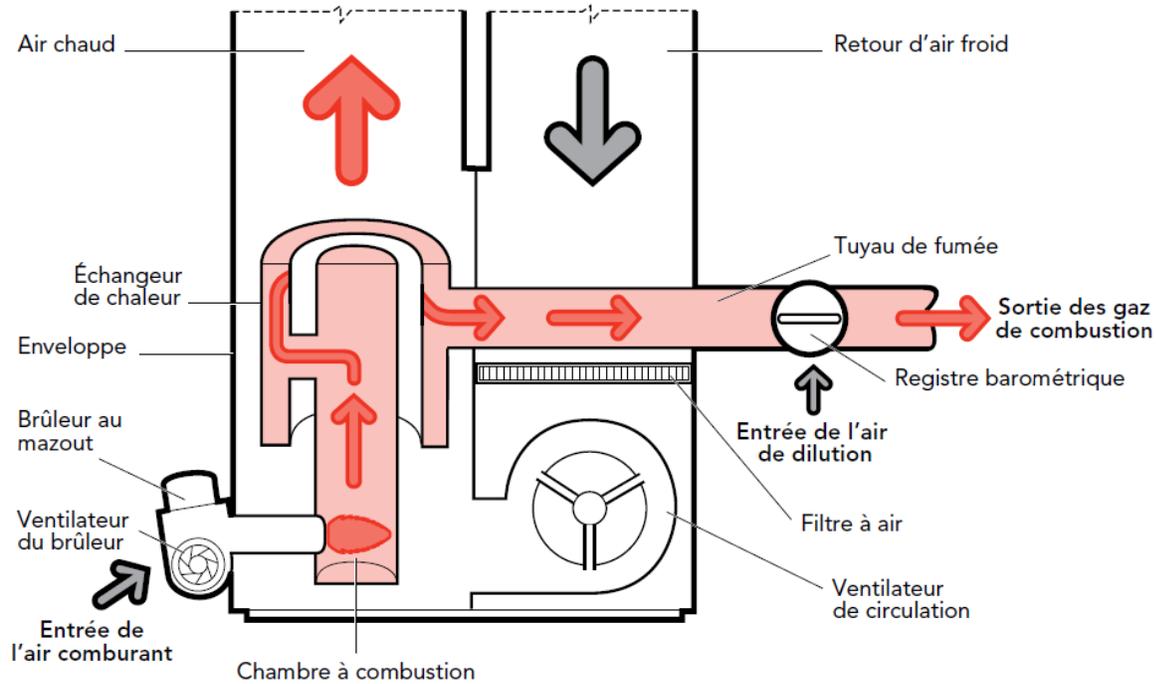
Pour opérer les fournaies ou les chaudières, divers types de système de contrôle peuvent être utilisés. Les systèmes de contrôle seront traités dans la section **G.3.1 : Systèmes de contrôle**.

Au niveau des opérations, ce sont des systèmes faciles à opérer et à maintenir. Les systèmes décentralisés sont assez compacts, mais moins que les systèmes au gaz naturel. Il est recommandé d'utiliser des échangeurs de chaleur résistant au milieu humide. La fournaise ou encore la chaudière doit être compatible avec le type de système de distribution de chaleur que l'entreprise serriole désire utiliser.

---

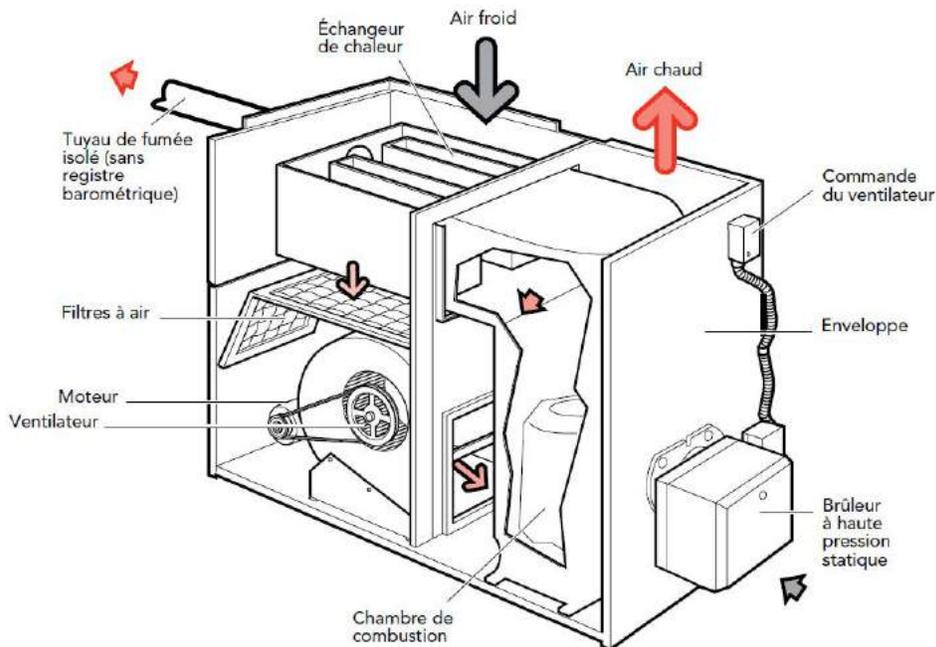
<sup>71</sup> Les compagnies Weil-McLain et Smith Cast-Iron Boilers offrent des chaudières intégrées ayant des puissances supérieures à 1 464 kW (5 000 000 BTU/h), mais elles ne sont pas utilisées au Québec (6).

Figure G. 6 : Fournaise au mazout léger (exemple n° 1)



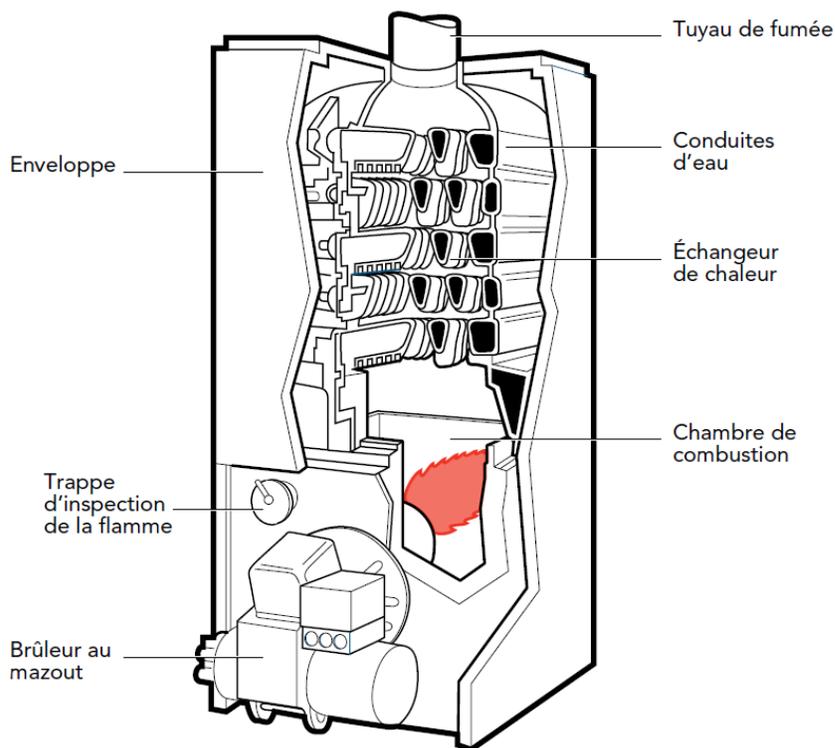
Source : Ressources Naturelles Canada

Figure G. 7 : Fournaise au mazout léger (exemple n° 2)



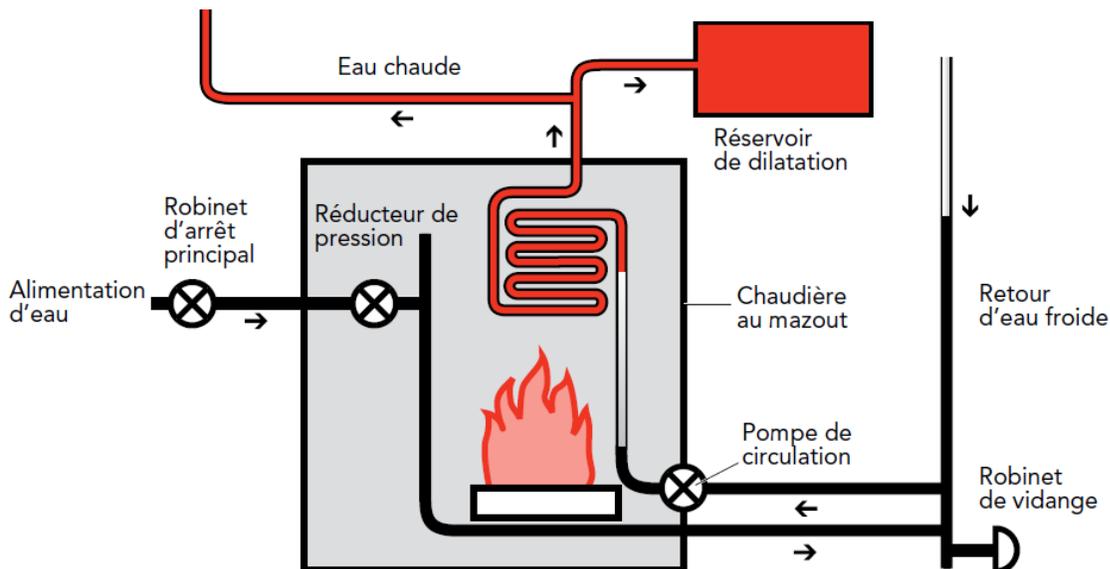
Source : Ressources Naturelles Canada

Figure G. 8 : Chaudière au mazout léger (système décentralisé)



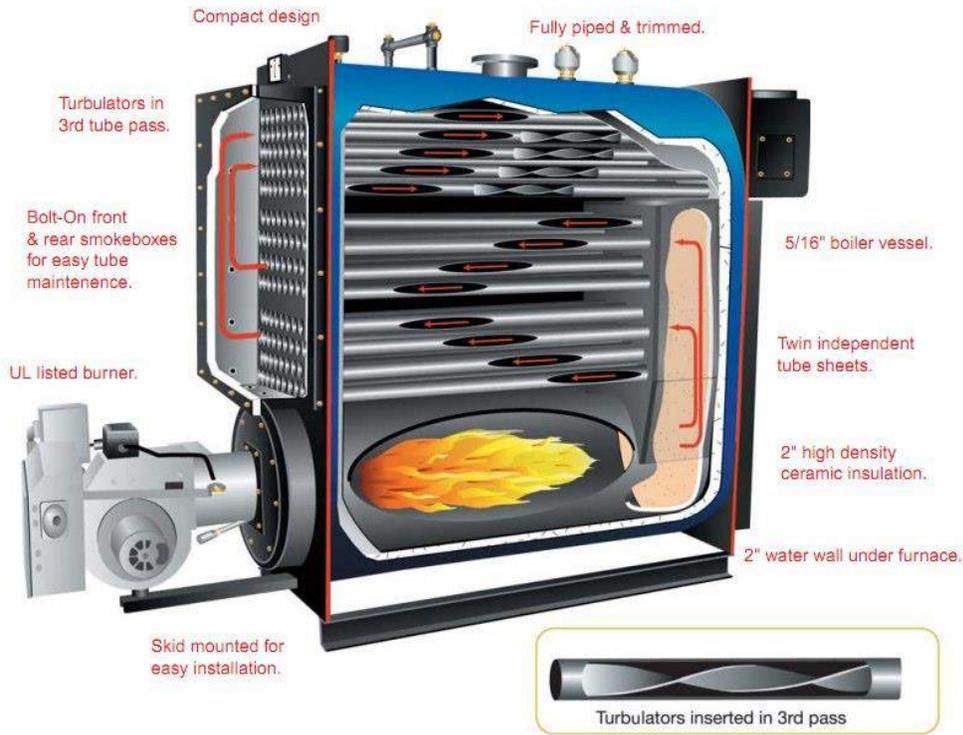
Source : Ressources Naturelles Canada

Figure G. 9 : Schéma typique d'une installation d'une chaudière au mazout (système décentralisé)



Source : Ressources Naturelles Canada - Adaptation : CIDÉS inc.

Figure G. 10 : Chaudière au mazout léger (système centralisé)



Source : Hurst Boiler & Welding Co., Inc. - Scotch Marine (LPW Series)

### G.1.4 : Biomasse

La biomasse répond à 14,3 % des besoins de chauffe des serres au Québec. La nature de la biomasse discutée dans cette section est d'origine végétale. Le **Tableau G. 2** présente les caractéristiques des différentes formes de bois. Il provient de la fiche publiée par le Syndicat des producteurs en serre du Québec (SPSQ). Il est aussi mentionné dans la fiche que les copeaux de bois et les broyats sont à privilégier. Il est à noter que certaines entreprises serricoles utilisent la granule de bois ou la bûche.

**Tableau G. 2 : Caractéristiques des différentes formes de bois**

Type		Taille	Humidité	Provenance
		(mm)	(%)	
Broyats	déchets ou rebuts	150 x 50 x 50	< 15	Rebuts de construction
	forêts	150 x 50 x 50	> 40	Arbres de la forêt
Copeaux		40 x 10 x 10	15 à 40	Arbres de la forêt / arbres urbains
Écorces		150 x 50 x 50	> 40	Industrie de 1 <sup>re</sup> transformation du bois (bois de construction)
Granules		8 x 25 x 10	< 5	Sciures sèches
Rabotures		20 x 10 x 2	< 15	Industrie de 2 <sup>e</sup> transformation du bois (ex. : meubles / bois de plancher)
Sciures	humides	2 x 1 x 1	> 40	Industrie de 1 <sup>re</sup> transformation du bois (bois de construction)
	sèches	2 x 1 x 1	< 15	Industrie de 2 <sup>e</sup> transformation du bois (ex. : meubles / bois de plancher)

Source : SPSQ - L'approvisionnement en biomasse pour le chauffage en serriculture (tableau 1, page 2) – Vol. 2, n° 2 de 4 (2011).

Le lecteur peut consulter et télécharger les fiches produites par le Syndicat des producteurs en serre du Québec sur le sujet. Les fiches présentent une démarche pour faciliter l'installation d'un tel système ([www.spsq.info](http://www.spsq.info)).

Les entreprises serricoles qui utilisent la biomasse peuvent être de petites ou de grandes tailles. L'utilisation des systèmes de génération de chaleur à biomasse est à la hausse. À la base, le coût d'implantation peut être élevé.

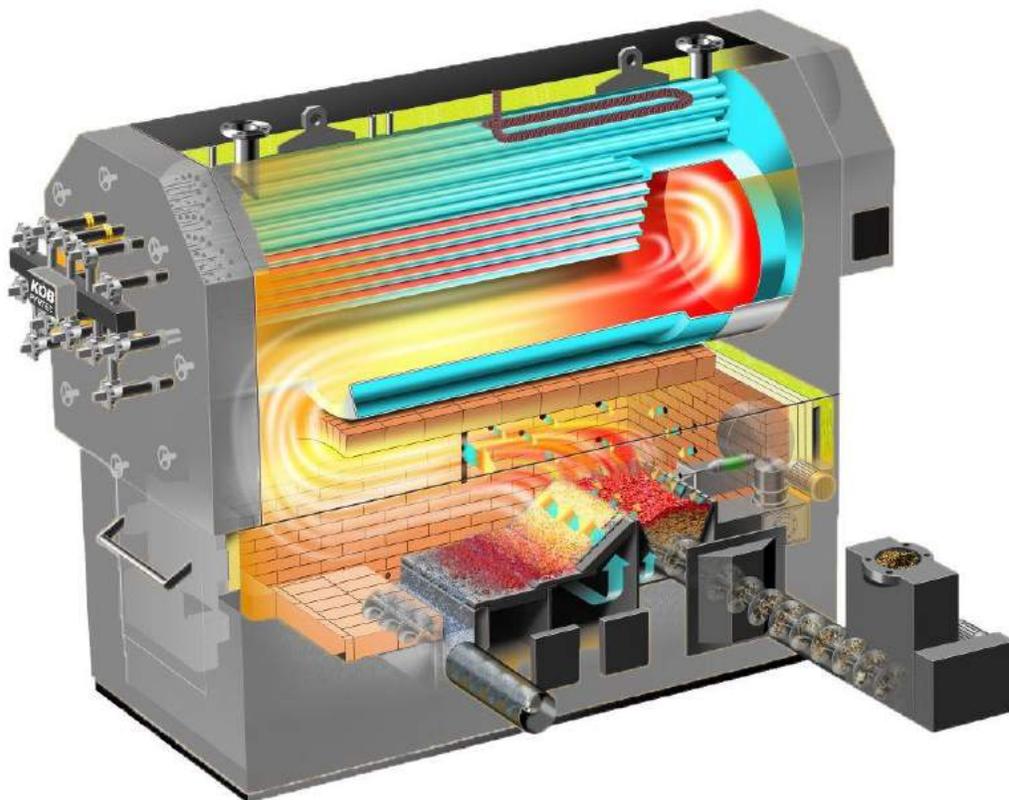
C'est la nature même de la biomasse (voir le **Tableau G. 2**), sa qualité et sa disponibilité dans le temps qui va dicter le type de chaudière à installer. L'installation de ce type de système demande beaucoup de préparation. Ainsi, l'entreprise serricole doit être en mesure de répondre aux questions liées :

- à l'identification des besoins de chauffe;
- à l'approvisionnement (qualité, quantité et disponibilité dans le temps);
- aux aspects techniques et d'ingénierie;
- aux opérations et à la maintenance.

Un système de chauffe à biomasse comporte diverses composantes telles que présentées dans la **Figure G. 12** et la **Figure G. 13**.

Les entreprises serricoles qui utilisent la biomasse vont utiliser un système centralisé. Le système centralisé est composé principalement d'une ou plusieurs chaudières. Jusqu'à présent, les entreprises serricoles utilisent l'eau chaude à des températures inférieures à  $< 95\text{ }^{\circ}\text{C}$  (**Figure G. 11**; **Photo G. 1**, **Photo G. 2**). L'utilisation d'un réservoir d'hydro-accumulation est conseillée (**Photo G. 3**). La section **G.2.4 : Réservoir d'hydro-accumulation** discutera des réservoirs d'hydro-accumulation.

**Figure G. 11 : Exemple d'une chaudière à biomasse (vue interne)**



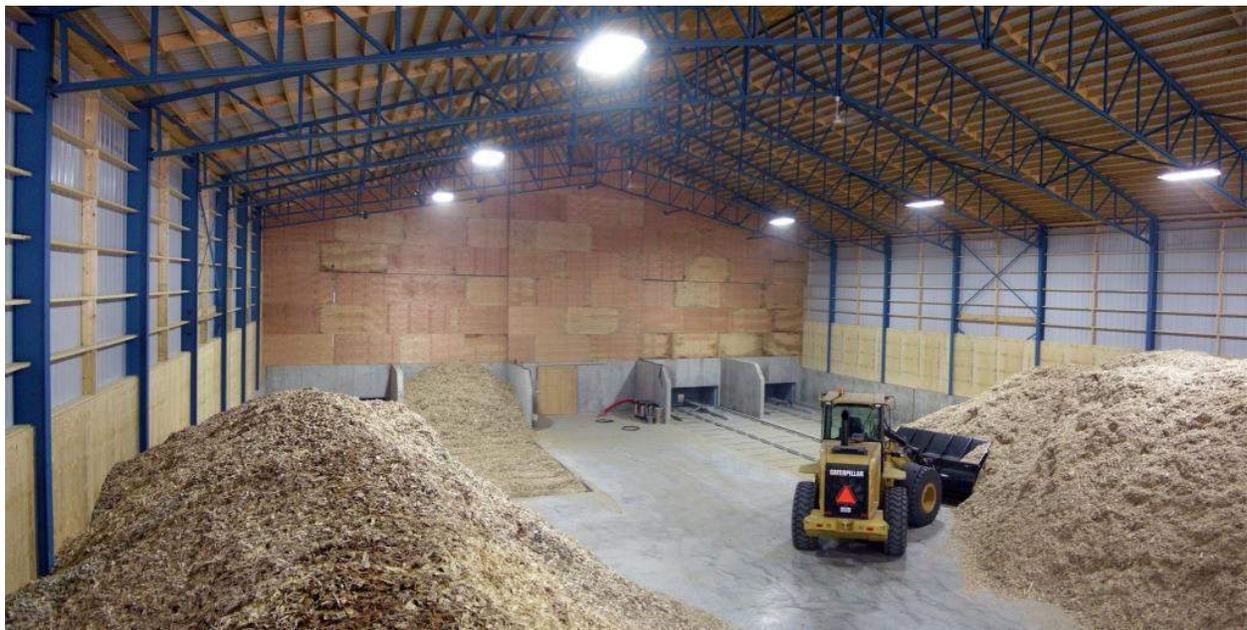
Source : [www.ventekenergy.com](http://www.ventekenergy.com)

**Photo G. 1 : Serres Lefort - Chaudière à biomasse (1 x 6 000 kW thermiques chacune)**



Source : Jean Gobeil et Associés – Louis-Martin Dion, ing. jr

**Photo G. 2 : Serres Lefort - entrepôt de biomasse et système d'alimentation**



Source : Jean Gobeil et Associés – Louis-Martin Dion, ing. jr

**Photo G. 3 : Serres Lefort - chaufferie et réservoir d'hydro-accumulation**



Source : Jean Gobeil et Associés – Louis-Martin Dion, ing. jr

Présentement, le rendement énergétique des chaudières à biomasse n'est pas toujours connu. Les fabricants nord-américains vont surtout donner aux entreprises serricoles la puissance nette de chauffe disponible lorsqu'elle est opérée à pleine puissance.

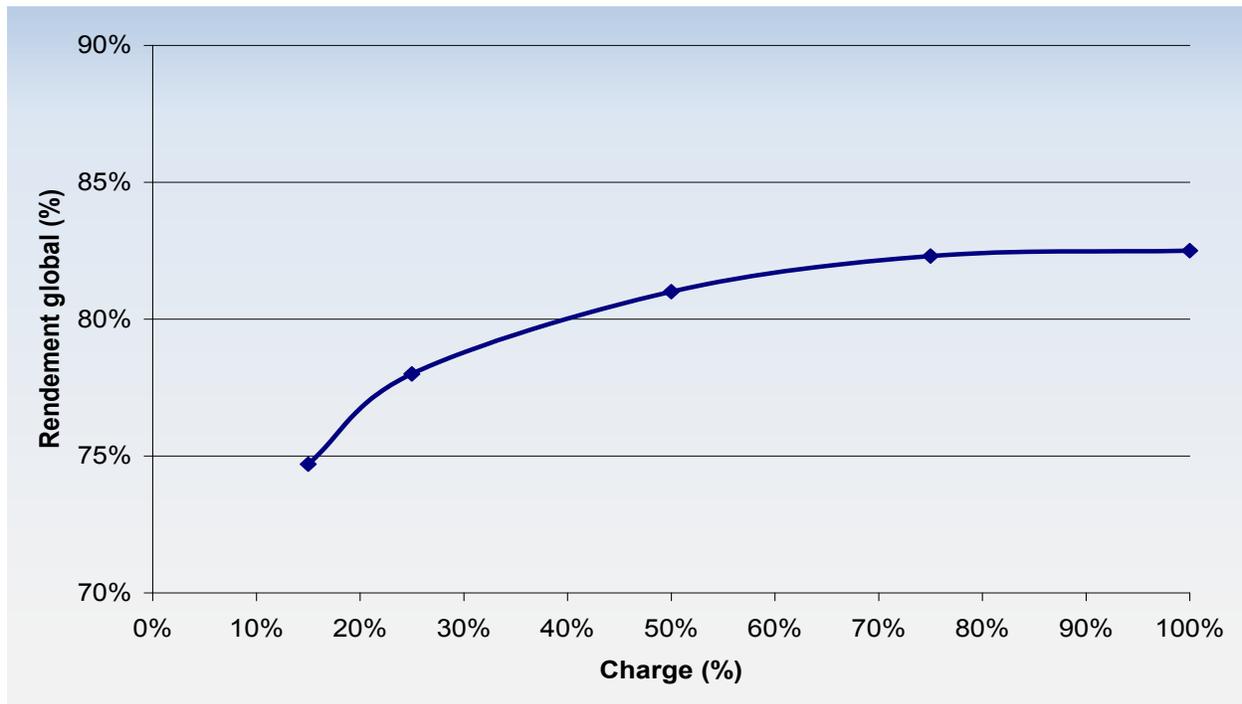
La qualité de conception et de fabrication est très variable d'un fabricant à l'autre. Présentement, les modèles européens offrent davantage de flexibilité et de performance par rapport aux modèles nord-américains, car les règlements environnementaux plus élevés en Europe ont obligé les fabricants européens à optimiser leur conception. Ainsi, les fabricants européens sont en mesure généralement de donner le rendement énergétique en fonction de l'appel de puissance. Le **Graphique G. 3** représente la courbe typique de rendement énergétique en fonction de l'appel de puissance. Cette courbe est importante, car elle permet de concevoir de façon optimale le système de chauffe à biomasse.

Au niveau des opérations, l'appel de puissance peut être modulé de façon continue. Cependant, cette modulation en continu est possible que sur certains modèles de bouilloires. Une modulation en continu permet de gérer le système de chauffe de façon efficiente et de développer des stratégies de chauffe selon les besoins de chauffe anticipés. L'utilisation du réservoir d'hydro-accumulation est obligatoire dans ce cas. Tout cela aide aussi à préserver le bon fonctionnement de la chaudière à biomasse et ainsi augmenter sa durée de vie utile.

Pour faire une analogie, on peut comparer d'une part un système de génération de chaleur à biomasse et sa gestion pour répondre aux besoins de chauffe, à un parcours de vélo en terrain montagneux; d'autre part, on peut comparer la flexibilité de moduler l'appel de puissance au nombre de vitesses qu'un vélo possède. Ainsi, plus un vélo possède de vitesses, plus le cycliste peut gérer son vélo en terrain montagneux tout en minimisant l'énergie et le travail qu'il va déployer pour faire face aux différentes conditions qu'il va remplir (terrain plat, montées, descentes).

Il est impératif de gérer la combustion et la chauffe avec l'aide d'un système ordonné. La combustion est la plupart du temps gérée par l'ordinateur de la bouilloire et la chauffe par l'ordinateur de l'entreprise serricole (système de contrôle). Dans ce cas, il faut s'assurer de la compatibilité et l'harmonie des deux ordinateurs.

**Graphique G. 3 : Courbe de rendement énergétique (rendement global) selon l'appel de puissance (charge)**



Source : Rogaume, 2010

Une chaudière à biomasse demande davantage de temps à l'entreprise serricole pour l'opérer et la maintenir, que les systèmes de chauffe utilisant les produits pétroliers ou encore l'électricité.

Une deuxième chaudière est souvent installée (exemples : gaz naturel, mazout léger, électricité). Elle est utilisée comme source de chaleur d'appoint lors des périodes de pointe ou encore comme système de secours lors de bris ou encore de maintenance du système à biomasse. Il serait possible que la deuxième chaudière soit aussi à la biomasse. La puissance minimale des chaudières est dictée selon le niveau de sécurité recherché par l'entreprise serricole et les stratégies d'utilisation des deux chaudières. Évidemment, la conception du réseau de distribution de chaleur va tenir compte du scénario choisi.

L'utilisation de la biomasse de façon efficace est encore en développement au Québec. Ainsi, les entreprises serricoles ont accès à peu de ressources et d'expertises pour développer adéquatement un

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

système de chauffe à biomasse si on se compare à ce qui se passe en Europe ou ailleurs au Canada. Éventuellement, l'expertise au Québec devrait se développer dans les années à venir<sup>72</sup>.

---

<sup>72</sup> Depuis l'automne 2013, un nouveau programme est offert au Ministère des Ressources naturelles du Québec : Programme de biomasse forestière résiduelle. Le lecteur peut en savoir plus en communiquant directement avec le Ministère.

Figure G. 12 : Vue d'ensemble typique d'un système de chauffage à la biomasse pour une entreprise serricole

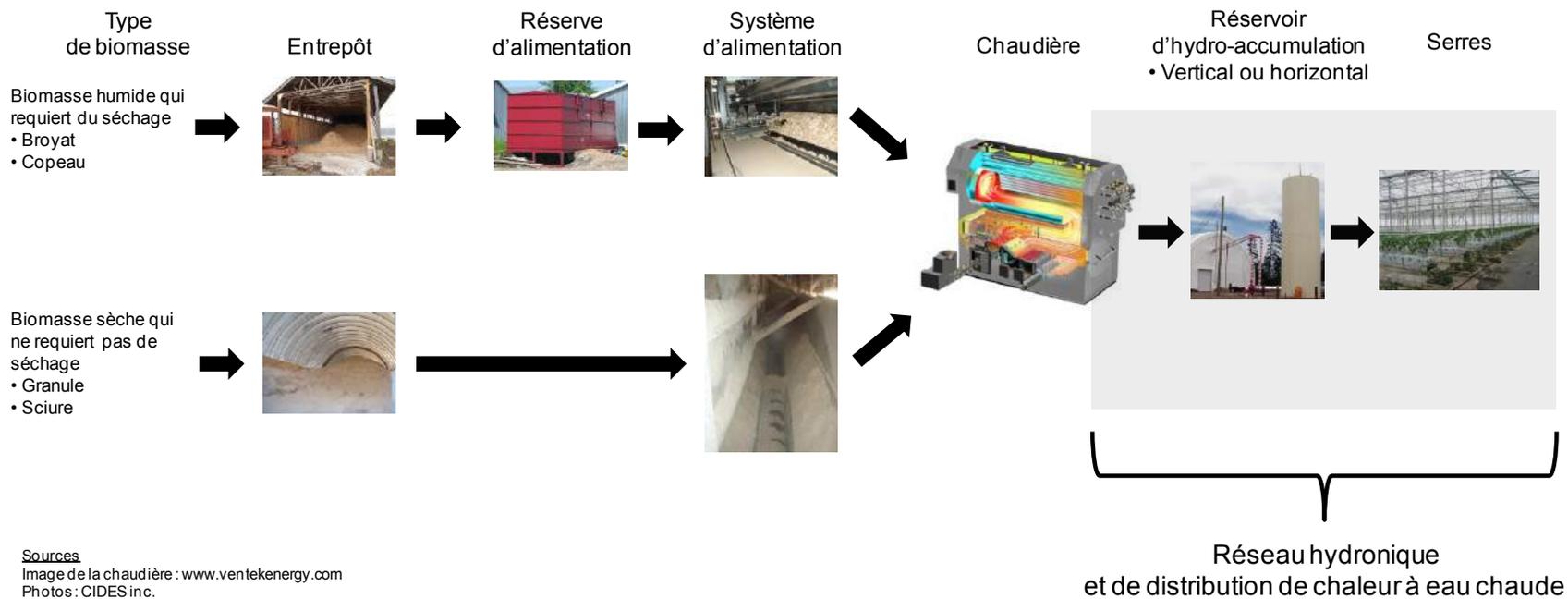
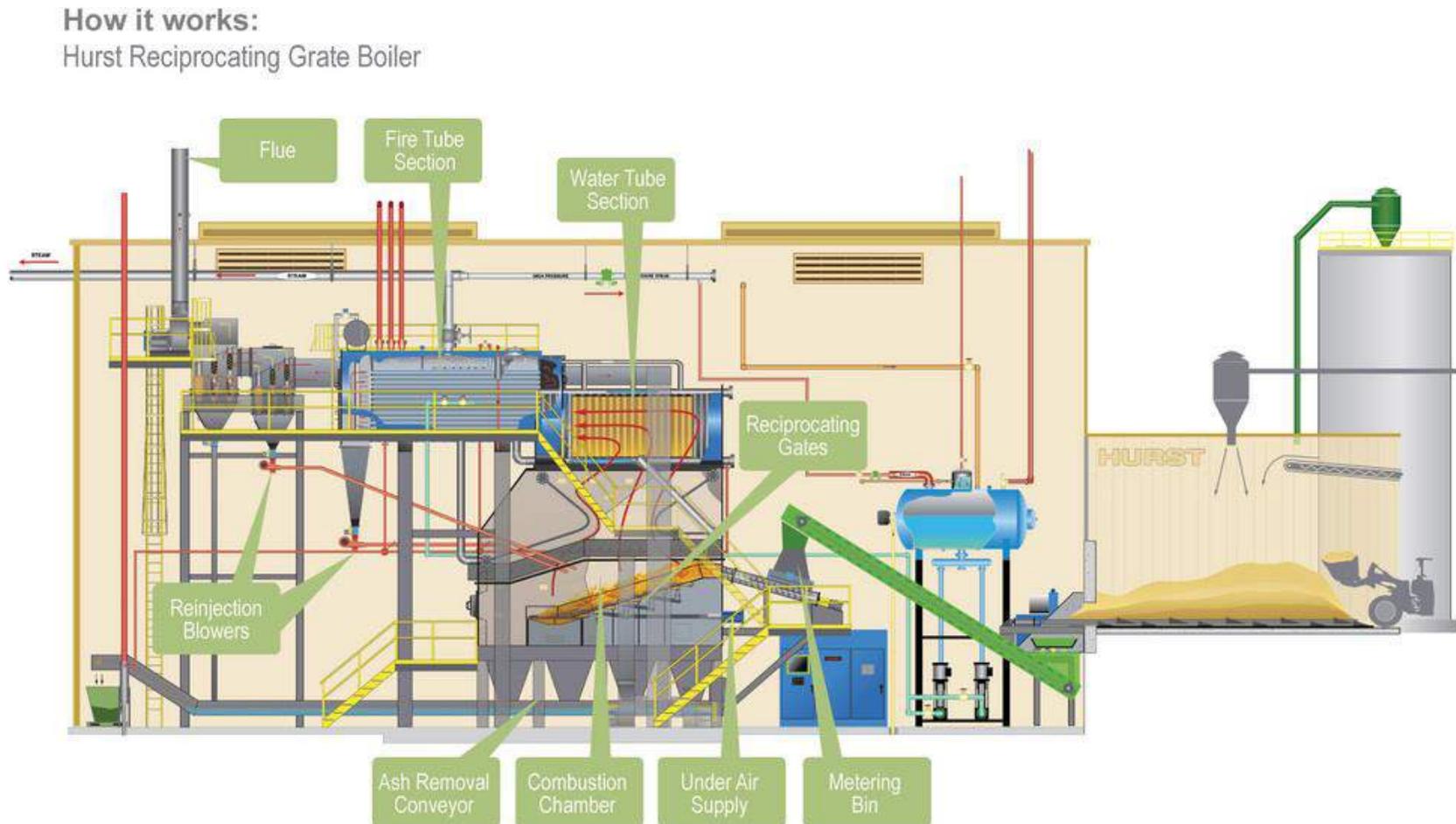


Figure G. 13 : Vue d'ensemble typique d'un système de chauffage à la biomasse à eau chaude ou à la vapeur d'eau



Source : Hurst Boiler & Welding Co., Inc.

### G.1.5 : Mazout lourd – Huile usée

Le mazout lourd et l'huile usée répondent à 14,0 % des besoins de chauffe des serres au Québec. Cependant, la majorité des entreprises serrioles utilise l'huile usée. L'huile usée n'est pas un type de mazout lourd. Le mazout lourd est par définition les mazouts n° 4, n° 5 et n° 6. Voici comment est défini le mazout lourd tel que décrit dans un article publié sur le site de Statistique Canada<sup>73</sup> :

*Qu'est-ce que le mazout lourd?*

*Le mazout lourd est un combustible de pauvre qualité, noir et de consistance goudronneuse. Il est essentiellement composé de carbone, d'hydrogène, de soufre et d'autres impuretés, telles que des cendres, des métaux et de l'eau. Le mazout lourd est obtenu lors de la distillation du pétrole, une fois que d'autres produits pétroliers plus légers, tels que l'essence et le kérosène, ont été extraits. Le mazout lourd est donc un produit dérivé ou un résidu de la distillation, tout comme l'asphalte.*

*L'Office des normes générales du Canada (ONGC) classe le mazout dans six catégories, de 0 à 2 pour le mazout léger, tel que l'essence, et de 4 à 6 pour les mazouts plus lourds qui comprennent le mazout domestique et le mazout lourd. En général, plus le chiffre de la catégorie est élevé, plus le prix est bas et plus la qualité est faible (les chaînes carbonées sont plus longues et la teneur en soufre, plus élevée). L'avantage du moindre coût du mazout lourd peut être amoindri par les exigences supplémentaires en matière d'entretien de l'équipement dans les installations de brûlage, par les coûts d'entreposage et par la nécessité de chauffer le mazout avant de l'utiliser dans certaines applications.*

Concernant l'huile usée, celui-ci provient généralement du secteur automobile ou du secteur industriel. Les lubrifiants, les fluides hydrauliques, les fluides pour le travail des métaux et les fluides isolants sont les principales sources servant aux huiles usées (7).

L'utilisation du mazout lourd ou de l'huile usée est réglementée selon chaque province au Canada. La réglementation concernant le mazout lourd touche davantage le taux de soufre que peut contenir une quantité donnée de mazout<sup>74</sup>. Ceci varie d'une province à l'autre, et même d'une municipalité à l'autre.

Concernant l'utilisation de l'huile usée au Québec, voici ce que dit brièvement le Règlement sur les matières dangereuses (extrait publié sur le site Internet du « Ministère Développement durable, Environnement, Faunes et Parcs (MDDEP) » :

<sup>73</sup> <http://www.statcan.gc.ca/pub/11-621-m/11-621-m2007062-fra.htm>

La norme CAN/CGSB-3.2-2011 s'applique au mazout n° 0, 1, 2, 4, 5 et 6 et détaille les caractéristiques que le mazout doit posséder pour être utilisé comme source d'énergie dans le chauffage domestique et industriel.

<sup>74</sup> La réglementation inclut aussi le mazout léger.

### *Les huiles usées*

*Le Règlement sur les matières dangereuses permet d'utiliser des huiles usées à des fins énergétiques pourvu que l'équipement de combustion ait une puissance d'au moins trois mégawatts et que ces huiles respectent les normes mentionnées à l'annexe 6 du Règlement.*

*Toutefois, les établissements industriels et les serres déjà autorisés à utiliser des huiles usées à des fins énergétiques avant l'entrée en vigueur du Règlement, et dont la puissance de l'équipement de combustion est inférieure à trois mégawatts, pourront continuer de le faire à condition qu'il s'agisse du même équipement et que les huiles soient conformes aux normes de l'annexe 6 du Règlement.*

Il y a le programme ÉcoPerformance qui est offert depuis l'automne 2013 par le « Ministère des Ressources Naturelles du Québec » pour réduire la consommation de mazout lourd. Les combustibles admissibles au programme sont : le mazout lourd (no 4, 5 et 6), le mazout léger, le gaz naturel, le diesel, l'essence, le propane et le butane. Bref, tous les combustibles fossiles. Les huiles usées devraient aussi être éligibles, même si elle n'est pas mentionnée telle quelle dans le cadre normatif du 21 octobre 2013<sup>75</sup>. Il est à noter que le contenu énergétique par litre d'huile usée se compare souvent au contenu énergétique par litre de mazout n° 2. Cependant, l'huile usée est plus polluante que le mazout n° 2. Le lecteur peut prendre connaissance des détails de ce programme à l'adresse suivante (lien fonctionnel à la date du rapport) :

<http://efficaciteenergetique.mrn.gouv.qc.ca/clientele-affaires/ecoperformance>

Le CIDES n'a pas observé dans les dernières années d'entreprises serricoles qui utilisaient le mazout lourd (mazout n° 4, 5 et 6). Concernant l'utilisation de l'huile usée, celle-ci devrait diminuer dans les prochaines années. En effet, les réglementations plus sévères et la réduction de sa disponibilité forcent les entreprises serricoles à se convertir vers d'autres sources d'énergie par exemple la biomasse.

Dans le domaine serricole, les systèmes de génération de chaleur à l'huile usée sont des systèmes centralisés (chaudières à eau chaude). Ces systèmes demandent plus de maintenance et de suivi vu la nature du produit du combustible et les réglementations plus sévères pour son utilisation. Pour opérer les chaudières, divers types de système de contrôle peuvent être utilisés. Les systèmes de contrôle seront traités dans la section **G.3.1 : Systèmes de contrôle**.

### **G.1.6 : Propane**

Le propane répond à 3,8 % des besoins de chauffe des serres au Québec. Le propane utilisé est sous forme liquide. Il est entreposé dans des bonbonnes de gaz. Les entreprises serricoles peuvent être de petites ou grandes tailles. Il est surtout utilisé pour générer du CO<sub>2</sub>. Un très petit nombre d'entreprises l'utilise comme source principale d'énergie pour la chauffe, mais ceci tant à diminuer. Par exemple, les

---

<sup>75</sup> Un producteur en serre utilisant l'huile usée pourra contacter le Ministère pour confirmer l'éligibilité de l'huile usée au programme.

Serres Lefort ont remplacé leur système de chauffe principale au propane par un système de chauffe à la biomasse.

Les systèmes de génération de chaleur qui utilisent le propane peuvent être des fournaies ou des chaudières. Il n'est pas rare qu'une fournaie ou une chaudière au gaz naturel puisse être convertie pour utiliser le propane liquide. Les entreprises serrioles utilisent surtout des systèmes décentralisés ou des générateurs de CO<sub>2</sub> au propane. La chaleur résiduelle provenant des générateurs de CO<sub>2</sub> est récupérée pour la chauffe. Il peut y avoir différentes façons de faire. Ceci dépend de l'aménagement et du type de générateur de CO<sub>2</sub>.

Le propane peut être aussi utilisé comme source de chaleur dans les systèmes de génération de chaleur d'appoint ou comme système de secours lors de bris ou encore de maintenance du système de génération de chaleur principale (exemple : système de chauffe à la biomasse).

Pour opérer les fournaies ou les chaudières, divers types de système de contrôle peuvent être utilisés. Les systèmes de contrôle seront traités dans la section **G.3.1 : Systèmes de contrôle**. S'il est utilisé exclusivement pour le CO<sub>2</sub>, son utilisation se fera en fonction du taux de CO<sub>2</sub> recherché dans la serre.

Au niveau des opérations, ce sont des systèmes faciles à opérer et à entretenir. De plus, ces systèmes sont assez compacts. Il est recommandé d'utiliser des échangeurs de chaleur résistant au milieu humide. La fournaie ou encore la chaudière doit être compatible avec le type de système de distribution de chaleur que l'entreprise serriole désire utiliser.

### **G.1.7 : Autres systèmes**

#### **G.1.7.1 : Électricité**

Cette section exclut les thermopompes air-air, les systèmes de géothermie et la chaleur résiduelle provenant des systèmes d'éclairage artificiel. La chaleur qui est produite provient des éléments électriques. Sa convivialité pour opérer et maintenir ce type de système de génération de chaleur permet de l'utiliser avec des systèmes centralisés ou non, et pour des entreprises de diverses tailles.

L'utilisation de l'électricité dans les serres au Québec a été encouragée dans les années '80 via le programme biénergie<sup>76</sup> (voir la **Figure G. 14**). Le retrait progressif au début des années 2000 du programme biénergie et des tarifs concurrentiels dans le secteur serriole a diminué son taux

---

<sup>76</sup> Concept actuellement utilisé pour les résidences : L'électricité est utilisée durant la plus grande partie de la saison de chauffage (température extérieure supérieure ou égale à -12 °C ou -15 °C, selon les régions) et la source d'appoint prend la relève par temps très froid (température extérieure inférieure à -12 °C ou -15 °C). Le passage de l'électricité à la source d'appoint s'effectue automatiquement grâce à la présence, dans le système de chauffage, d'un dispositif de permutation automatique qui obéit aux signaux d'une sonde de température placée à l'extérieur de la résidence. D'autres méthodes peuvent être utilisées. Par exemple, Hydro-Sherbrooke utilise une télécommande radio sur fréquence VHF exclusive au Distributeur qui permet le transfert du chauffage au mode d'appoint simultanément avec le changement de tarif (du bas au haut tarif). Ainsi, le changement ne se fait pas selon la température extérieure.

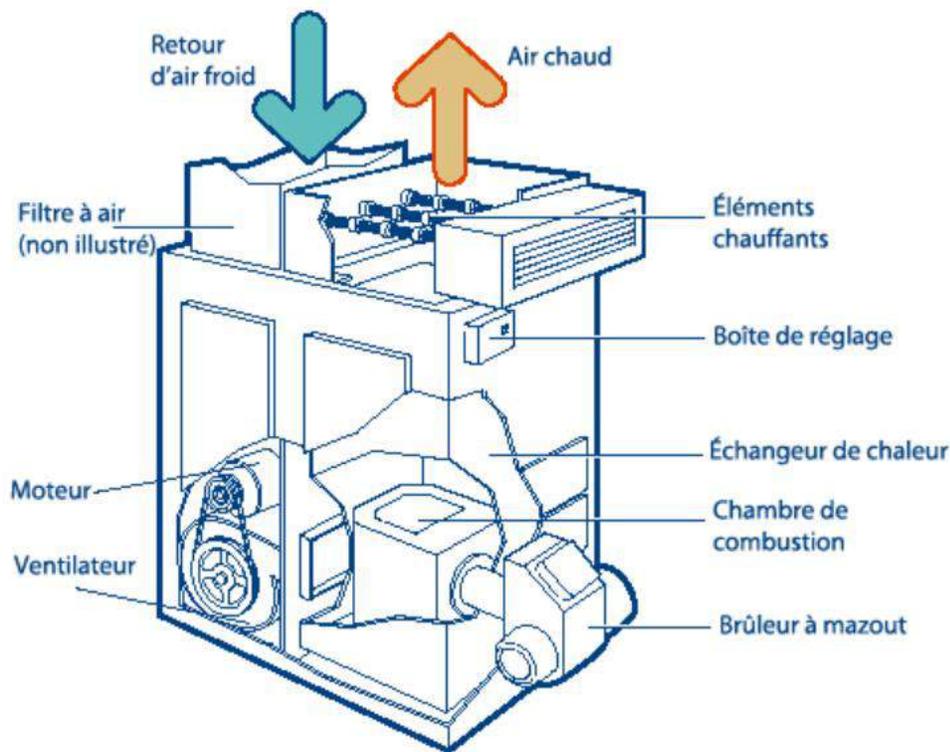
d'utilisation à 1,2 %. Il pourrait être une source d'énergie intéressante, mais ceci demanderait des travaux au niveau des entrées électriques des entreprises serricoles et du réseau de distribution électrique. Aussi, l'entreprise serricole devrait toujours avoir une source d'énergie alternative en cas de panne d'électricité. Les sources d'énergie alternatives sont en général le mazout léger et le gaz naturel. L'achat d'une génératrice qui répondrait à 100 % au besoin de chauffe peut être réalisé techniquement, mais il est souvent rejeté d'un point de vue technico-économique.

Les entreprises serricoles qui l'utilisent encore aujourd'hui sont celles qui l'ont implanté dans les années '80. Depuis le retrait du programme biénergie, plusieurs entreprises ont converti leurs systèmes de chauffe. Or depuis l'automne 2013, Hydro-Québec offre de nouveau un programme biénergie pour les entreprises serricoles puissent utiliser cette option (tarif DT). Hydro-Sherbrooke offre aussi le même programme (tarif DT). De plus, Hydro-Sherbrooke offre toujours le tarif BT (tarif biénergie commercial). Si le coût unitaire (kWh) est intéressant (tarifs DT et BT), l'entreprise serricole devra tenir compte aussi de l'appel de puissance qu'il anticipera utiliser et de la façon que la facture sera calculée par le distributeur. Généralement, les distributeurs pourront effectuer des simulations pour estimer les coûts. Les liens suivants permettront au lecteur d'en savoir plus (lien fonctionnel à la date du rapport) :

[http://www.hydroquebec.com/publications/fr/tarifs/pdf/addenda\\_tarifs\\_distributeur.pdf](http://www.hydroquebec.com/publications/fr/tarifs/pdf/addenda_tarifs_distributeur.pdf)

<http://www.ville.sherbrooke.qc.ca/fileadmin/fichiers/Juridiques/reglements/reglement425-va20130418.pdf>

Figure G. 14 : Fournaise biénergie



Source : Ressources Naturelles Canada

#### G.1.7.2 : Géothermie

Il y a plusieurs entreprises serricoles qui ont installé des systèmes de géothermie, mais les résultats obtenus et leur niveau de satisfaction sont très variés. Il n'y a pas eu d'études à grande échelle pour évaluer le rendement énergétique annuel et réel de façon exhaustive. Le « Syndicat des producteurs en serre du Québec (SPSQ) » a publié une fiche pour les entreprises serricoles intéressées à la géothermie<sup>77</sup>.

Dans le domaine serricole, la géothermie est utilisée pour la chauffe seulement. Il faudrait des serres fermées ou semi-fermées pour utiliser la géothermie comme système de refroidissement et de déshumidification. Les systèmes de géothermie permettent de chauffer la serre, mais non de façon pleine et entière. Il serait difficile d'envisager des systèmes qui pourraient répondre au besoin de chauffe lorsque la température extérieure est inférieure à -5°C. Certaines entreprises l'utilisent exclusivement pour chauffer des tables chauffantes ou des planchers chauffants. La géothermie s'applique dans le domaine serricole avec des systèmes décentralisés (**Photo G. 4**).

<sup>77</sup> [http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/SPSQ-Fiche4-Geothermie.v090121%20\(1\).pdf](http://www.agrireseau.qc.ca/horticulture-serre/documents/SPSQ-Fiche4-Geothermie.v090121%20(1).pdf)

**Photo G. 4 : Exemple d'un système de géothermie avec système de distribution de chaleur à air chaud**



Source : CIDES inc. – Boîtiers verts = échangeurs; Boîtiers beiges = Thermopompes

Les petites et grandes entreprises peuvent utiliser la géothermie. Cependant, les petites entreprises devraient regarder davantage les systèmes de géothermie horizontale. En effet, il est plus facile de quantifier son potentiel par rapport à un système de géothermie avec des puits verticaux où leur nombre est limité.

À titre d'exemple, si une petite entreprise doit forer quatre puits verticaux, il y a plus de chances qu'un ou deux puits ne puissent pas être utilisés. Un ou deux puits sur quatre diminuent de 25 % à 50 % de son potentiel. Tandis que si une grande entreprise fore cinquante puits verticaux, s'il y a de fortes chances que la majorité des puits puisse être utilisée. Dans ce dernier, s'il y a deux puits sur cinquante qui ne sont pas utilisables, l'impact sera moindre (4 % ou 2 sur 50).

Au niveau des opérations, il faut s'assurer de ne pas épuiser l'énergie contenue dans le sol. En effet, l'intensité de la chauffe qui est élevée dans une serre ne permet pas de l'utiliser au maximum de sa capacité et en continu, sans affecter en fin de compte le rendement énergétique du système de géothermie.

Pour être en mesure d'opérer optimalement un système de géothermie, ceci demande la prise de données autant pour la boucle entre la pompe à chaleur et le sol, et la boucle entre la pompe à chaleur et le réseau de distribution de chaleur. Au niveau de la maintenance, il est important de faire vérifier annuellement le système de géothermie (exemples : effectuer des contrôles d'étanchéité, vérifier le fluide frigorigène).

#### G.1.7.3 : Thermopompe air-air

Ce procédé n'est pas utilisé présentement pour la chauffe, le refroidissement ou encore la déshumidification dans le domaine serricole. Il y a plusieurs années, il y a eu un programme qui permettait aux entreprises serricoles d'utiliser ce procédé. Cependant, la majorité des entreprises ont

cessé de l'utiliser après quelques années seulement (< 5 ans), car les systèmes utilisés n'étaient pas adaptés pour une utilisation intensive dans les serres tout en étant efficaces.

#### G.1.7.4 : Chaleur résiduelle provenant des systèmes d'éclairage artificiel

En soi, ce n'est pas un procédé pour chauffer les serres. Les entreprises serricoles qui utilisent l'éclairage artificiel bénéficient tout simplement de la chaleur résiduelle dégagée par les lampes. On peut estimer qu'une serre récupère environ 30 % de la chaleur résiduelle provenant des lampes localisées au-dessus de la canopée. Ce taux peut être plus élevé si l'entreprise utilise des écrans thermiques (≈ 50 %).

Si une entreprise serricole utilise intensément un système d'éclairage artificiel et qu'elle décide de cesser son utilisation ou encore de le modifier de façon importante (exemple : remplacer des lampes HPS par des lampes DEL qui dégagent moins de chaleur que les HPS), alors il serait très important d'évaluer l'impact d'un tel projet au niveau de la chauffe d'un point de vue global, mais aussi au niveau physiologique de la plante.

#### G.1.7.5 : Rejets thermiques

Il y a au Québec quelques entreprises serricoles qui utilisent les rejets thermiques. Celles-ci sont présentées dans la section **G.1.7.6** (cas des Serres Demers à Saint-Nicéphore de Drummondville) et la section **4. Utilisation des rejets thermiques dans la production en serre** de ce rapport.

#### G.1.7.6 : Biogaz

Le biogaz peut provenir de différentes sources : centre d'enfouissement des déchets, digesteurs. Le biogaz produit est sous forme de méthane<sup>78</sup>. D'une part, le méthane peut être comprimé et entreposé pour une utilisation ultérieure. D'autre part, le biogaz peut être utilisé au fur et à mesure pour générer de l'électricité (cogénération). Dans ce dernier cas, la chaleur résiduelle générée est récupérée pour chauffer des bâtiments ou des serres.

À titre d'exemple, la ville de Saint-Hyacinthe utilise présentement trois digesteurs pour produire des biogaz à l'usine de traitement des eaux usées. Ce sont les matières solides issues des eaux usées qui alimentent les digesteurs. Le biogaz comble les besoins énergétiques de l'usine.

Il y a présentement deux entreprises serricoles au Québec qui utilisent le biogaz : Serres du St-Laurent (serre de tomates – Savoura à Saint-Étienne-des-Grés) et Productions Horticoles Demers (serre de tomates – Saint-Nicéphore de Drummondville – trois hectares).

Dans les deux cas, le biogaz provient de centres d'enfouissement. Voici comment les deux entreprises utilisent le biogaz.

---

<sup>78</sup> Le biogaz est principalement composé de méthane (CH<sub>4</sub>) et de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), il peut contenir entre 50 % et 75 % de méthane. Le gaz naturel tel que nous le connaissons contient environ 97 % de méthane (source : Association québécoise de la production d'énergie renouvelable – AQPER).

1. Les Serres du St-Laurent récupèrent le biogaz pour faire fonctionner leur bouilloire. Lorsque le biogaz n'est pas disponible pour diverses raisons, le gaz naturel peut être utilisé comme source d'énergie alternative (voir la **Photo G. 5**).
2. Les Productions Horticoles Demers récupèrent la chaleur résiduelle qui provient des génératrices d'électricité (cogénération). Les génératrices proviennent de la centrale de production d'électricité de Waste Management. Ainsi, c'est Waste Management qui est responsable de traiter et de brûler le biogaz (**Photo G. 6**).<sup>79</sup> Le soir venu, l'électricité produite par Waste Management est utilisée aussi pour opérer le système d'éclairage artificiel.<sup>80</sup> Il est à noter que ce type de projet s'apparente davantage à un projet de rejets thermiques.

Les deux entreprises distribuent la chaleur produite via un réseau hydronique. L'utilisation du biogaz pour la chauffe demande beaucoup de préparation et de ressources aux entreprises.

---

<sup>79</sup> Waste Management est une entreprise spécialisée dans la transformation en électricité du biogaz généré par la décomposition des déchets de sites d'enfouissement.

<sup>80</sup> Yves Charlebois – Agence QMI (première publication 20 novembre 2012 à 4 h 35 – tvnouvelles.ca).

**Photo G. 5 : Serres Savoura à Saint-Étienne-des-Grés**



Source : Photo de Sylvain Mayer – Publiée le 19 avril 2011 à 07h10 (mis à jour le 19 avril 2011 à 07h10) – La Presse ([www.lapresse.ca](http://www.lapresse.ca))

Photo G. 6 : Vue du centre d'enfouissement et des serres « Productions Horticoles Demers » à Saint-Nicéphore de Drummondville



Source : Waste Management (WM) division Saint-Nicéphore (saint-nicephore.wm.com)

#### G.1.7.7 : Générateur de CO<sub>2</sub>

Il est fréquent que les entreprises serricoles dans la production maraîchère veuillent augmenter le taux de CO<sub>2</sub> contenu dans l'air dans la serre. Le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation de l'Ontario (OMAFRA) a publié une fiche sur le sujet (8). Le texte suivant est un extrait de cette fiche et il décrit le rôle du CO<sub>2</sub> et son impact sur la production.

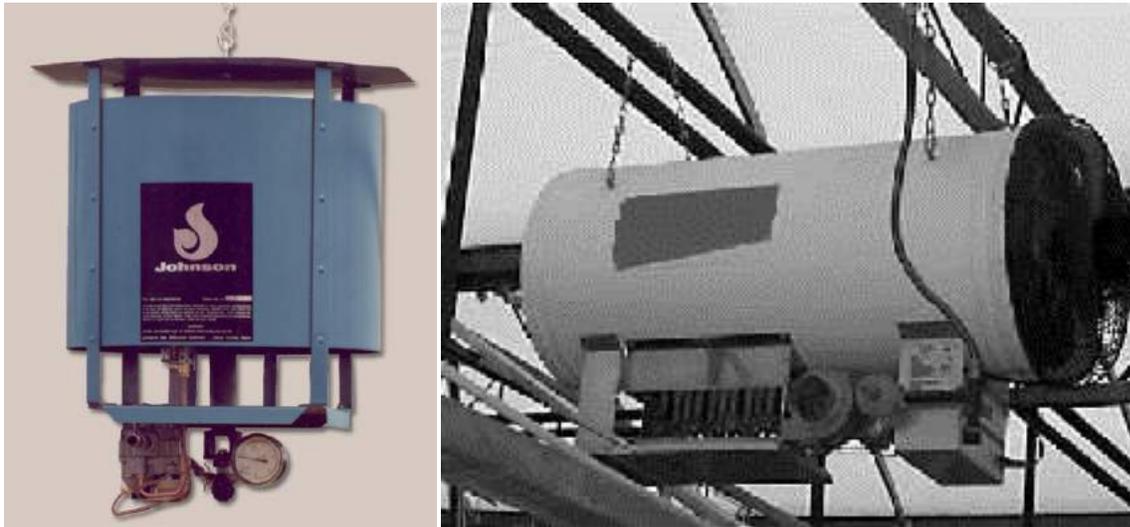
*Le gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) est indispensable au phénomène de la photosynthèse, grâce auquel les plantes vertes utilisent l'énergie lumineuse pour transformer le CO<sub>2</sub> en eau et en sucre. Ces sucres servent ensuite à divers mécanismes de croissance contrôlés par le processus de la respiration. La différence entre la photosynthèse et la respiration détermine l'importance de l'accumulation de matière sèche (croissance) dans la plante.*

*L'objectif de tous les serriculteurs est d'accroître la teneur en matière sèche des plantes et d'obtenir un rendement maximum au moindre coût. Le CO<sub>2</sub> accroît la productivité en améliorant la croissance et la vigueur des plants. L'apport de CO<sub>2</sub> peut améliorer la productivité en favorisant notamment la floraison hâtive, en augmentant le rendement en fruits, en réduisant la chute prématurée du bouton chez les roses ou en améliorant la vigueur de la tige et la taille de la fleur. Les serriculteurs considèrent le CO<sub>2</sub> comme un élément nutritif.*

Pour augmenter le taux de CO<sub>2</sub> dans la serre, les entreprises serricoles peuvent acheter du CO<sub>2</sub> pur qui est entreposé dans des réservoirs ou utiliser un générateur de CO<sub>2</sub>. Le générateur de CO<sub>2</sub> peut être un brûleur spécialement conçu à cet effet (**Photo G. 7**) ou utiliser le brûleur provenant du système de génération de chaleur (**Photo G. 8**). Pour ce dernier, celui-ci est pourvu d'un condensateur conçu spécialement pour les gaz de combustion. Les entreprises serricoles québécoises vont utiliser comme combustible le gaz naturel ou le propane lorsqu'elles utilisent des générateurs de CO<sub>2</sub>.

Seul le générateur de CO<sub>2</sub> contribue à la chauffe. La chaleur récupérée dans la serre varie selon les systèmes installés. Suite à la réalisation d'audit énergétique par le CIDES, les générateurs de CO<sub>2</sub> contribuent en moyenne à environ 12 % des besoins de chauffe des entreprises serricoles analysées (31 entreprises québécoises de toutes origines et tailles).

**Photo G. 7 : Générateur de CO<sub>2</sub> - Brûleur spécialement conçu à cet effet**



Sources : The Johnson Gas Appliance Company – Carbon Dioxide In Greenhouses – Agdex # : 290/27 (OMAFRA)

**Photo G. 8 : Générateur de CO<sub>2</sub> - Brûleur avec condensateur provenant du système de génération de chaleur**



Source : The Carbon Dioxide In Greenhouses – Agdex # : 290/27 (OMAFRA)

**G.1.7.8 : Énergie solaire**

L'énergie solaire peut être utilisée pour produire de l'électricité (énergie solaire photovoltaïque) ou encore pour réchauffer un fluide (énergie solaire thermique)<sup>81</sup>. Selon son utilisation, différents capteurs doivent y être installés.

Différentes études ont été réalisées pour analyser la faisabilité de chauffer des serres dans le nord et le sud de l'Europe (concept de l'énergie solaire thermique). L'utilisation de capteurs séparés, c'est-à-dire à l'extérieur de la serre, tant à démontrer que cette façon de faire n'est pas viable à cause du coût d'installation et d'exploitation.

---

<sup>81</sup> L'énergie solaire thermique peut être de basse ou de haute température. Les systèmes à haute température servent pour produire de l'électricité à grande échelle.

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

L'utilisation de capteurs localisés dans la serre a aussi été étudiée, mais cette façon de faire a aussi démontré peu de résultats encourageants d'un point de vue technico-économique.

L'utilisation de la serre comme capteur solaire et ainsi emmagasiner la chaleur dans son sol est probablement l'option la plus intéressante (9) (10). Cependant, d'autres études devront être réalisées au Québec pour développer les technologies employées et pour démontrer la pertinence d'un point de vue technico-économique.

#### G.1.7.9 : Énergie éolienne

L'énergie éolienne est produite par des aérogénérateurs qui captent à travers leurs pales l'énergie cinétique du vent et entraînent elles-mêmes un générateur qui produit de l'électricité d'origine renouvelable »<sup>82</sup>. Cette façon de faire ne permet pas de chauffer une serre de façon viable d'un point de vue technico-économique.

---

<sup>82</sup> Source : [www.energies-renouvelables.org](http://www.energies-renouvelables.org)

## G.2 : Description des systèmes de distribution de chaleur

### G.2.1 : Transfert de chaleur

#### G.2.1.1 : Aspect global

Le rôle d'un système de distribution de chaleur est de transférer la chaleur produite par le système de génération de chaleur à la bonne place, au bon moment et à la bonne intensité de façon efficiente.

Pour avoir un transfert de chaleur ou un échange de chaleur, il faut qu'un corps ait une température différente par rapport à la température de son environnement. De façon globale, le transfert de chaleur est proportionnel à la différence de température entre la source chaude et le milieu froid.

Il est important de se rappeler que :

- la température représente la qualité du niveau d'énergie thermique d'un corps ou le niveau d'agitation des particules que constitue ce corps ( $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{F}$ ,  $^{\circ}\text{K}$ );
- la chaleur est le niveau d'énergie intrinsèque que possède un corps (kWh, BTU);
- la puissance est la quantité d'énergie utilisée pendant une période de temps donnée (kW, BTU/h).

Dans son ensemble, le processus de transfert de chaleur dans une serre peut être imagé de la façon suivante (**Figure G. 15**, **Figure G. 16**, **Figure G. 17**) :

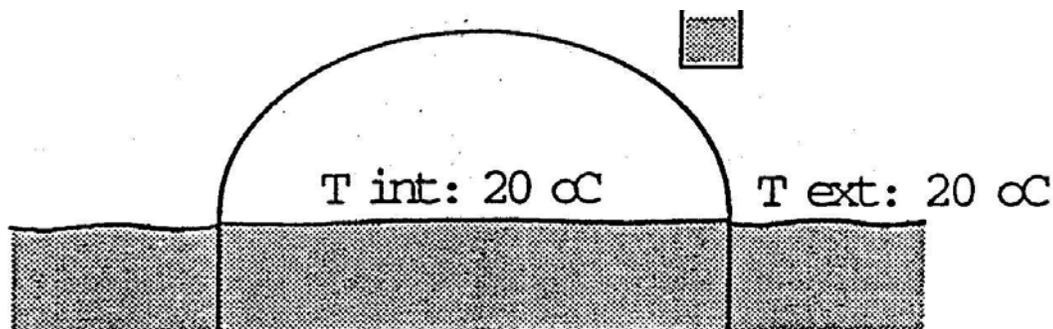
- la serre est un réservoir qui peut contenir de l'eau;
- le niveau d'eau dans le réservoir représente la température souhaitée dans la serre

Dans une serre, il peut y avoir trois scénarios :

Température extérieure = Température intérieure désirée

Dans ce cas, il n'y a pas d'échanges de chaleur.

**Figure G. 15 : Représentation d'une serre sans échanges de chaleur avec l'extérieur**

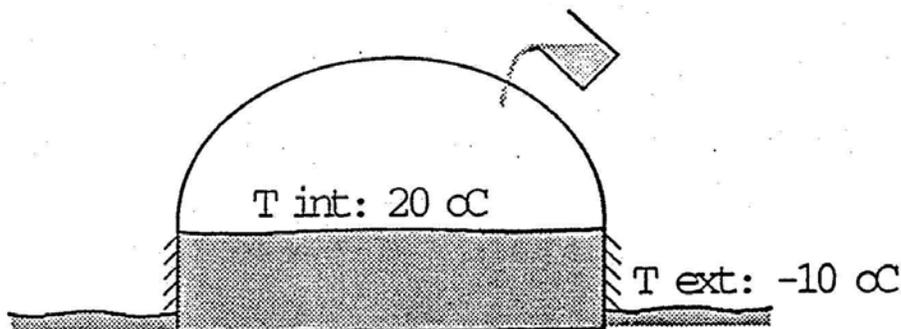


Source : Jean-Marc Boudreau, ing. – Notes de cours – La serre : chaleur et température - ITA de Saint-Hyacinthe (2005)

Température extérieure < Température intérieure désirée

Il va y avoir une perte de chaleur dans la serre. Le système de chauffe devra combler la perte de chaleur. Plus la différence de température sera élevée, plus il faudra ajouter rapidement de la chaleur. La puissance de chauffe du système de chauffe devra être en mesure de combler cette perte de chaleur dans un temps donné.

**Figure G. 16 : Représentation d'une serre lors de pertes de chaleur avec l'extérieur**

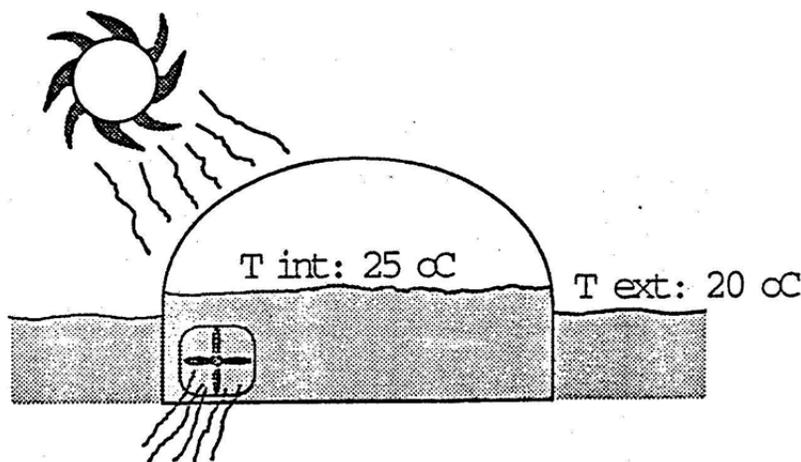


Source : Jean-Marc Boudreau, ing. – Notes de cours – La serre : chaleur et température - ITA de Saint-Hyacinthe (2005)

Température extérieure > température intérieure désirée

Il va y avoir un excédent de chaleur dans la serre. Les systèmes de ventilation ou refroidissement de la serre doivent être en service pour atteindre la température désirée ou tout de moins s'en rapprocher pour minimiser les impacts sur la production.

**Figure G. 17 : Représentation d'une serre lors de gains de chaleur avec l'extérieur**



Source : Jean-Marc Boudreau, ing. – Notes de cours – La serre : chaleur et température - ITA de Saint-Hyacinthe (2005)

### G.2.1.2 : Échangeur de chaleur (concept)

Un échangeur de chaleur est un dispositif permettant de transférer de l'énergie thermique entre deux fluides. Il est habituellement séparé par une paroi solide. Les fluides peuvent être de nature gazeuse (exemples : air, gaz frigorigène, vapeur d'eau) ou liquide (exemples : eau, huile). On les appelle souvent dans les systèmes fermés des fluides caloripporteurs.

Comme il a été mentionné dans la section précédente, il y a transfert de chaleur ou échange de chaleur lorsqu'un corps ou un objet a une température différente par rapport à la température de son environnement. Ainsi, la serre joue malgré elle le rôle d'un échangeur de chaleur. Les parois de la chambre de combustion d'une fournaise ou encore le système de distribution de chaleur sont aussi des échangeurs de chaleur. Contrairement à la serre, ces deux derniers exemples sont conçus pour favoriser les échanges de chaleur, et cela de façon efficiente<sup>83</sup>. La **Figure G. 18** présente les différentes façons de classer les échangeurs de chaleur.

Pour concevoir un échangeur de chaleur ou encore un système de distribution de chaleur performant et durable, ceci demande un certain niveau d'expertise des concepteurs. À titre d'exemple la **Figure G. 19** présente une vue globale des différents aspects dont le concepteur doit tenir compte.

De façon générale, un échangeur de chaleur doit remplir les conditions suivantes (11) :

1. Efficacité thermique élevée
2. Pertes de charge aussi faible que possible
3. Fiabilité et durabilité
4. Bonne conception et sécuritaire
5. Compatibilité des matériaux avec les fluides du procédé
6. Pratique et peu encombrant, facile d'installation et d'utilisation
7. Facile à entretenir et à réparer lorsqu'il est en service
8. Léger, mais robuste pour résister aux conditions d'opération (pression)
9. Simplicité de fabrication
10. Abordable
11. Possibilité d'effectuer des réparations lors de problèmes de maintenance

Dans le cadre d'un projet de rejets thermiques, la conception et la sélection d'un échangeur de chaleur devront répondre adéquatement aux besoins de l'entreprise serricole et de l'entreprise fournissant la chaleur. Ce sont habituellement des firmes d'ingénieur qui vont effectuer cette tâche de concevoir ou encore sélectionner l'échangeur de chaleur en tenant compte des paramètres tels que présentés dans la **Figure G. 19**.

De façon globale, les observations terrains effectuées par le CIDES dans diverses entreprises serricoles démontrent une inégalité au niveau de la conception des échangeurs de chaleur associés aux systèmes de distribution de chaleur. Ceci peut provenir d'un manque : d'expertises, de ressources humaines ou encore financières.

---

<sup>83</sup> Sur le terrain, ce n'est malheureusement pas toujours le cas.

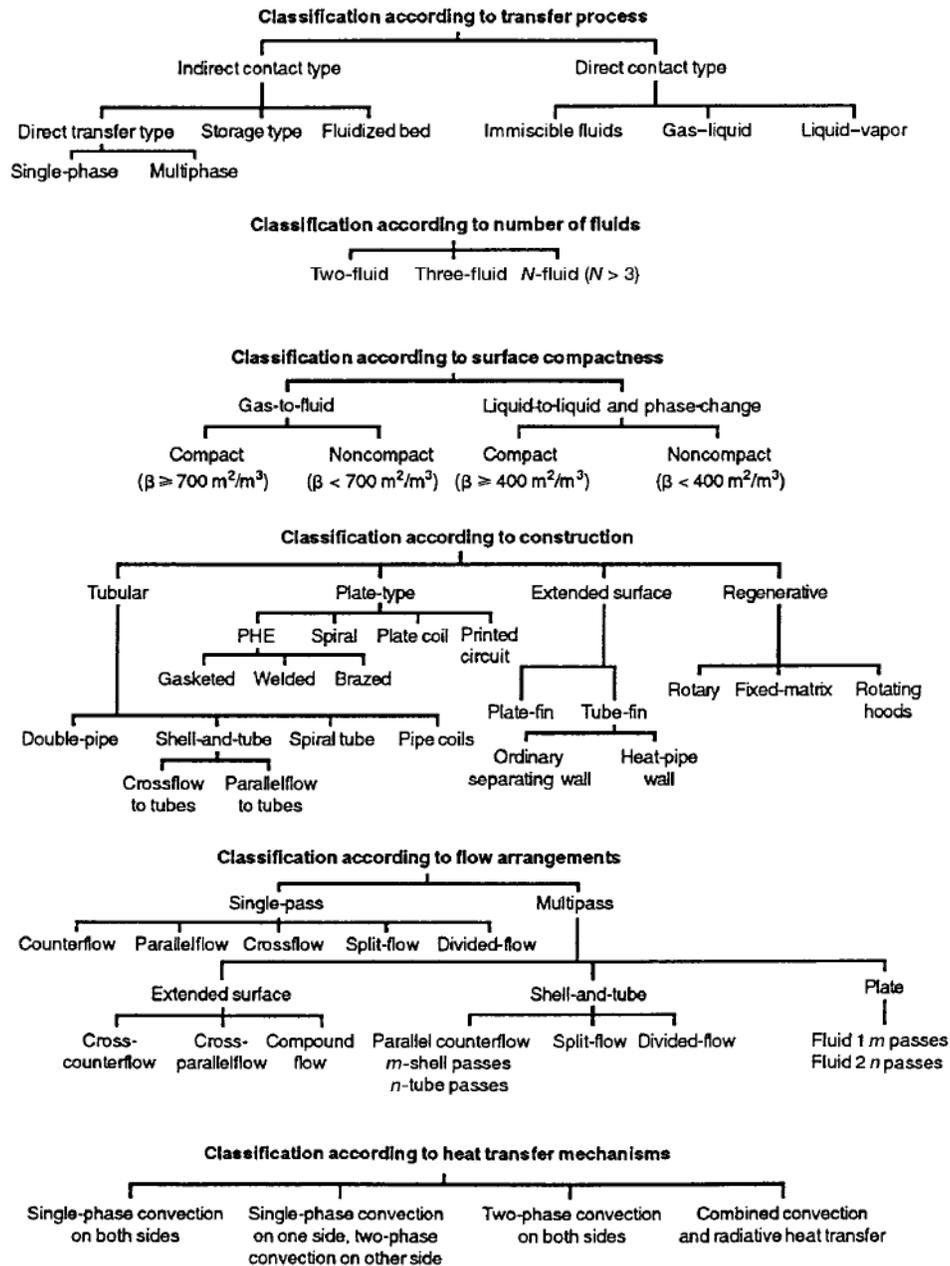
Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

Les échangeurs de chaleur localisés dans les fournaies ou les chaudières ne seront pas abordés<sup>84</sup>. Seuls les principaux systèmes de distribution de chaleur utilisés dans l'industrie serricole québécoise seront présentés dans les sections suivantes.

---

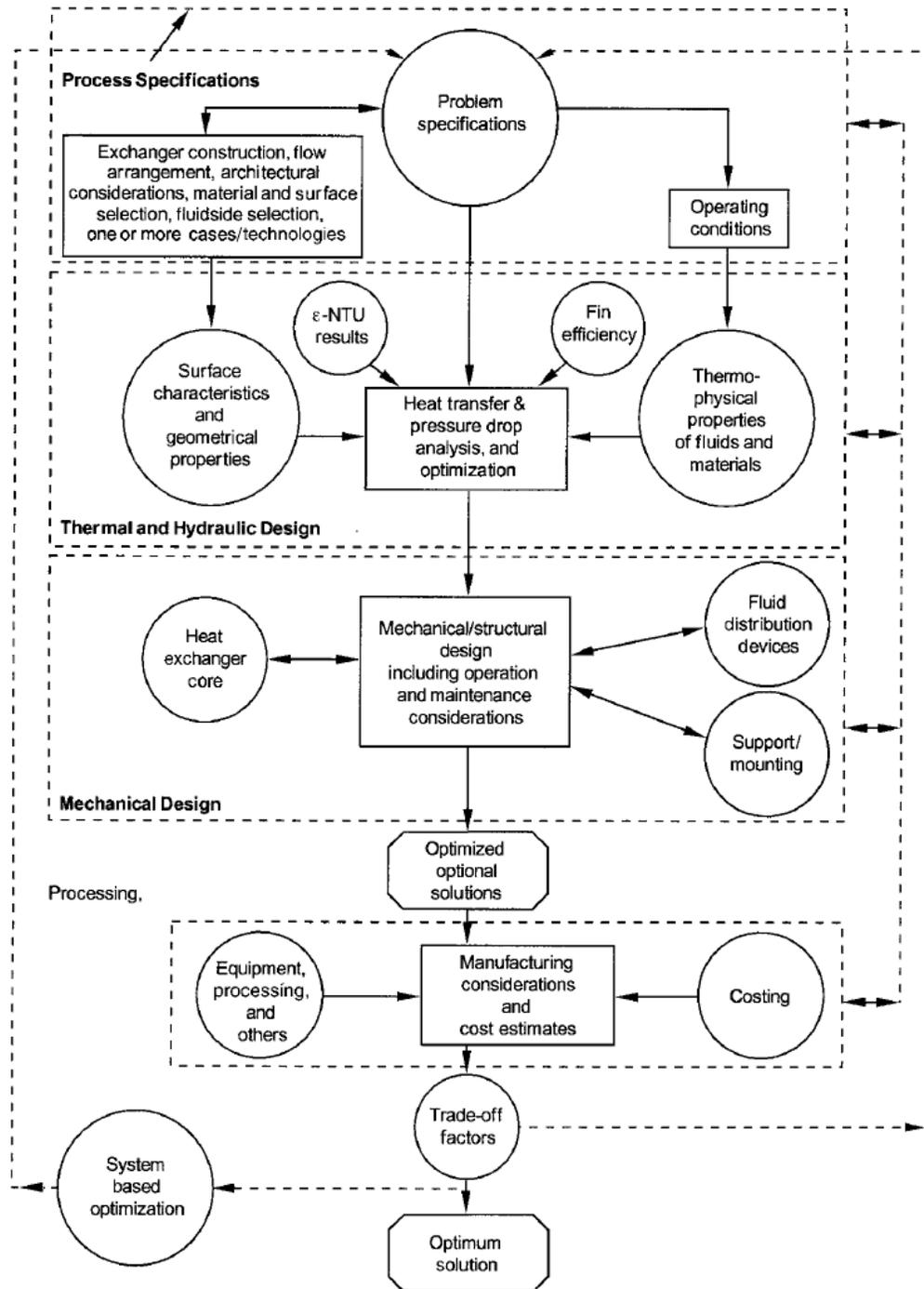
<sup>84</sup> La conception et la sélection d'un échangeur de chaleur pour un processus de chauffe ou industriels demandent généralement un ingénieur d'expérience dans ce domaine.

Figure G. 18 : Classification des échangeurs de chaleur (Shah, 1981)



Source : Fundamentals of heat exchanger design – © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. – p. 2

Figure G. 19 : Aspects à tenir compte lors de la conception ou encore sélection d'un échangeur de chaleur (modifié par Shah, 1982; Taborek, 1988; et and Kays and London, 1998)



Source : Fundamentals of heat exchanger design – © 2003 by John Wiley & Sons, Inc. – p. 80

## G.2.2 : Système à air chaud

Le système à air chaud est utilisé dans les petites et grandes entreprises. Dans les grandes entreprises, on le retrouve surtout dans les entreprises ornementales. Les entreprises qui possèdent des serres individuelles ou encore qui opèrent tardivement une serre vont souvent privilégier ce type de système. Le système à air chaud est relativement simple à installer et moins onéreux que les autres types de systèmes de distribution de chaleur. Cependant, ce système est généralement moins performant d'un point de vue énergétique que les autres systèmes. L'air chaud peut être distribué avec ou sans tubes de chauffage.

### G.2.2.1 : Air chaud sans tubes de chauffage

L'air chaud est expulsé dans la serre directement du système de génération de chaleur (**Photo G. 9**). Généralement, le système de génération de chaleur est suspendu dans les airs. Une entreprise serricole peut utiliser cette façon de faire pour les raisons suivantes. L'entreprise veut :

1. maximiser ses revenus en utilisant au maximum la superficie plancher de la serre dans le cadre d'une production localisée au niveau du sol (exemples : production de fleurs annuelles dans des caissettes);
2. limiter les risques que les tubes entrent en contact direct avec la production localisée au niveau du sol;
3. faciliter les opérations et la circulation du personnel et de la machinerie;
4. permettre au public de circuler dans la serre sans problèmes lorsque la serre est utilisée comme serre de vente.

Il y a deux désavantages d'utiliser cette façon de faire :

1. Il y a 30 % et plus de la chaleur générée par le système de génération de chaleur qui n'est pas utilisé, car elle est transférée par le toit;
2. Il est plus difficile d'uniformiser le climat de la serre en tout point.

### Photo G. 9 : Fournaise à air chaud sans conduits ou tubes pour diriger l'air chaud de façon précise



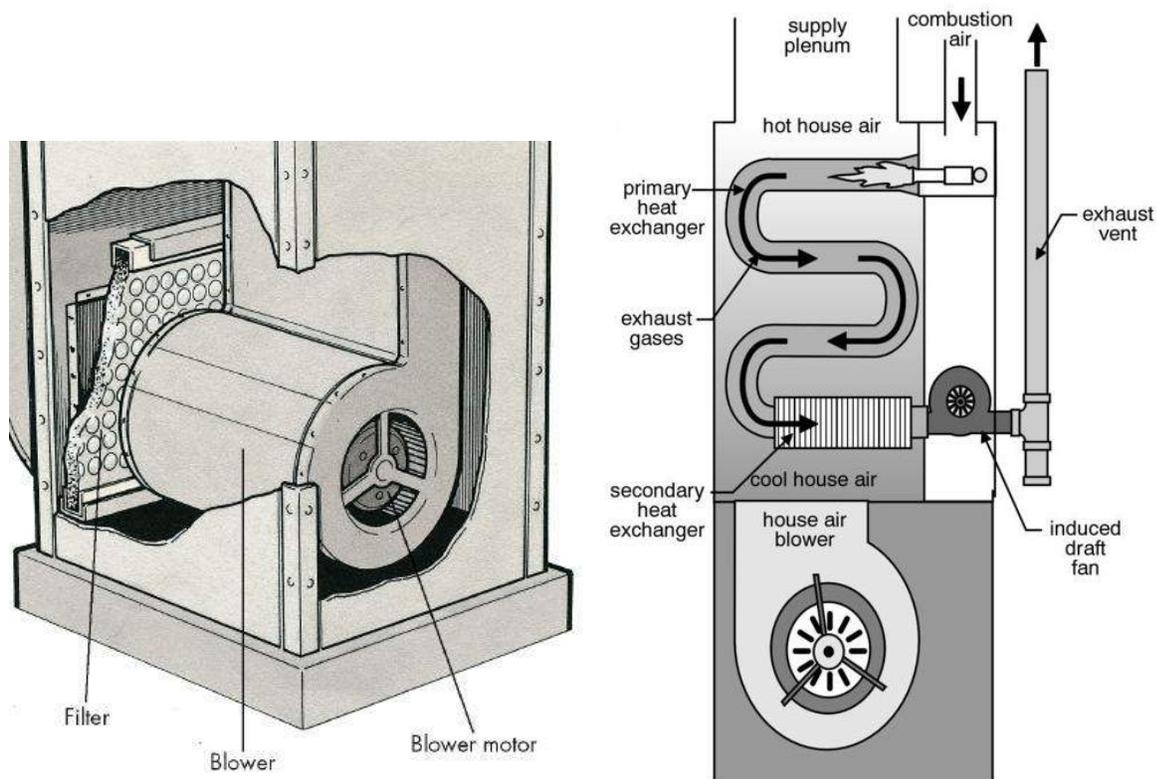
Source : CIDES inc.

### G.2.2.2 : Air chaud avec tubes de chauffage

Les fournaies à air chaud peuvent être raccordées à des conduits pour distribuer la chaleur à travers la serre. Cette technique pour distribuer la chaleur est utilisée surtout en Amérique du Nord. L'Europe va surtout privilégier les systèmes de distribution de chaleur à eau chaude.

L'entreprise serricole doit s'assurer que le modèle choisi permet de le faire. Seules les fournaies avec un ventilateur radial (centrifuge) peuvent utiliser les tubes de chauffage (**Figure G. 20**).

**Figure G. 20 : Ventilateur radial (centrifuge) d'une fournaie à air chaud**



Source : Furnace maintenance (home.howstuffworks.com) – Gravity Furnace? Get A New One (activerain.com)

À la sortie de la fournaie, les entreprises serricoles vont utiliser des conduits en acier galvanisé pour amener l'air au niveau du sol et en direction des aires de production. Par la suite, des tubes perforés<sup>85</sup> selon un patron de perçage précis seront raccordés aux conduits d'acier galvanisé et traverseront les aires de production (**Photo G. 10 : Tubes de chauffage perforés**).

<sup>85</sup> Tube en polyéthylène et non rigide.

Les tubes en polyéthylène peuvent être achetés déjà perforés<sup>86</sup>. Cependant, les entreprises serrioles vont acheter la plupart du temps des tubes en polyéthylène non perforés pour réaliser eux-mêmes le perçage des tubes en tenant compte de leur patron de perçage selon la localisation du tube et de leur installation. L'utilisation de conduits en acier galvanisé perforés pourrait aussi être utilisée, mais par rapport aux tubes en polyéthylène, il est :

- plus dispendieux;
- plus difficile à manipuler et à installer;
- moins conviviale pour ajuster le patron de perçage.

**Photo G. 10 : Tubes de chauffage perforés**



Source : CIDES inc.

<sup>86</sup> Même si une entreprise achète des tubes préperforés, celle-ci devra ajuster le patron de perçage en fonction des tests d'uniformité du climat qu'il réalisera. Il est à noter que l'ajustement peut être parfois difficile à réaliser.

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

Les tubes perforés vont être généralement localisés au sol : le long des murs intérieurs de la serre, au niveau des rangs de production ou encore sous les tables de production (**Photo G. 11**). Ceci pour favoriser l'uniformité du climat dans la serre sur son axe longitudinal et son axe latéral.

**Photo G. 11 : Tubes de chauffage (polyéthylène) et conduit en acier galvanisé raccordé à une fournaise au gaz naturel à condensation**



Source : CIDES inc.

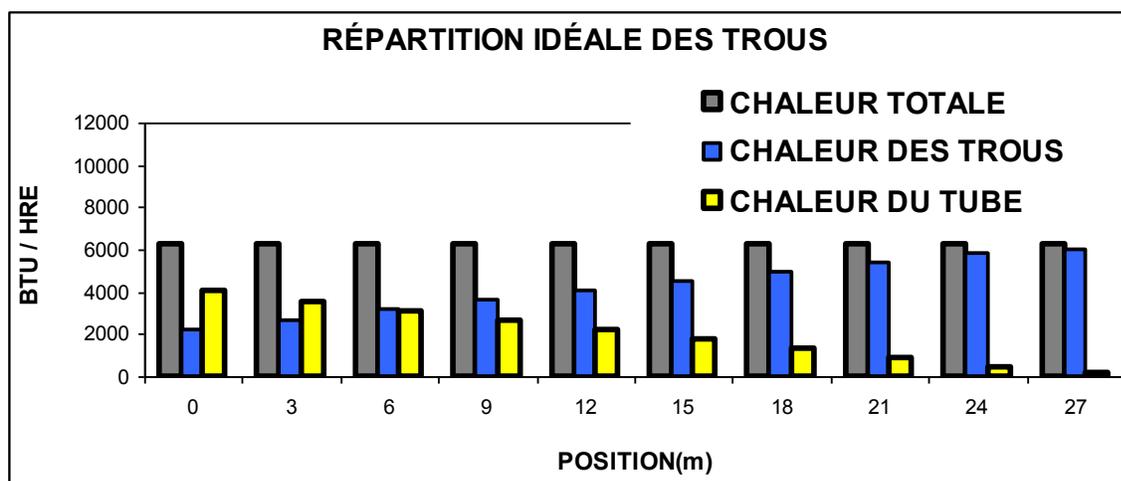
Il est à noter que certaines entreprises vont suspendre dans les airs les tubes de chauffage. Une entreprise sericole peut utiliser cette façon de faire pour les raisons suivantes. L'entreprise veut :

1. maximiser ses revenus en utilisant au maximum la superficie plancher de la serre dans le cadre d'une production localisée au niveau du sol (exemples : production de fleurs annuelles dans des caissettes);
2. limiter les risques que les tubes entrent en contact direct avec la production localisée au niveau du sol;
3. faciliter les opérations et la circulation du personnel et de la machinerie.

Le désavantage d'utiliser cette façon de faire est qu'il y a 25 % et plus de la chaleur générée par le système de génération de chaleur qui n'est pas utilisée, car elle est transférée par le toit. Au niveau de l'uniformité du climat, celle-ci peut se comparer davantage aux tubes localisés au sol par rapport au système sans tubes décrit à la section **G.2.2.1 : Air chaud sans tubes de chauffage**.

Le patron de perçage est conçu pour uniformiser le climat à travers la serre en tenant compte de la chaleur de la paroi du tube et de la chaleur sortant des trous. Avec un patron de perçage adéquat, la chaleur émise par le tube au niveau de la paroi et les trous sera uniforme tout le long du tube. La **Figure G. 1** présente l'effet recherché avec un patron de perçage optimal<sup>87</sup>. Les jets d'air sortant des tubes doivent pointer vers l'intérieur de la serre sans affecter les plants.

**Figure G. 21 : Répartition des trous pour la chaleur**



Source : Jean-Marc Boudreau, ing. – Notes de cours – La distribution de chaleur par air chaud - ITA de Saint-Hyacinthe (2005)

Il est important que la conception des conduits en acier galvanisé et des tubes perforés minimise les pertes de charge (exemples : tubes en polyéthylène écrasés, utilisation de coudes à 90°). Aussi, il ne faut jamais connecter ensemble des conduits ou des tubes qui ne proviennent pas d'un même ventilateur.

<sup>87</sup> Le schéma indique aussi que le nombre de trous sera plus important au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la fournaise. La plupart du temps, le premier quart de la longueur du tube n'aura aucun trou.

### G.2.3 : Système hydronique

L'eau chaude générée par une chaudière et circulant dans des tuyaux est appelée système hydronique. Ce système de distribution de chaleur est plus performant qu'un système à air chaud. Cependant, il est plus onéreux et demande plus de maintenance.

Une entreprise serricole peut développer des boucles de chauffe indépendantes pour chauffer diverses serres et pour contrôler la chauffe avec précision dans une serre.

Dans une serre, les entreprises serricoles vont normalement créer trois boucles de chauffe (**Photo G. 12**) :

1. Boucle du toit de la serre;
2. Boucle du pourtour de la serre;
3. Boucle liée à la production.

Les boucles de chauffe doivent être contrôlées de façon indépendante. À noter que les entreprises serricoles utilisent des chariots élévateurs pour effectuer la récolte ou encore de la maintenance (**Photo G. 13**). Le chariot élévateur se déplace sur des rails. Lorsque l'entreprise serricole utilise un réseau hydronique, les tuyaux d'eau chaude au niveau du sol font office de rails.

Les boucles de chauffe du toit sont utilisées rarement lors d'une saison de production. La plupart du temps, les entreprises serricoles les utilisent pour faire fondre plus rapidement la neige accumulée sur le toit entre deux gouttières lors de tempêtes de neige importantes ou successives<sup>88</sup>.

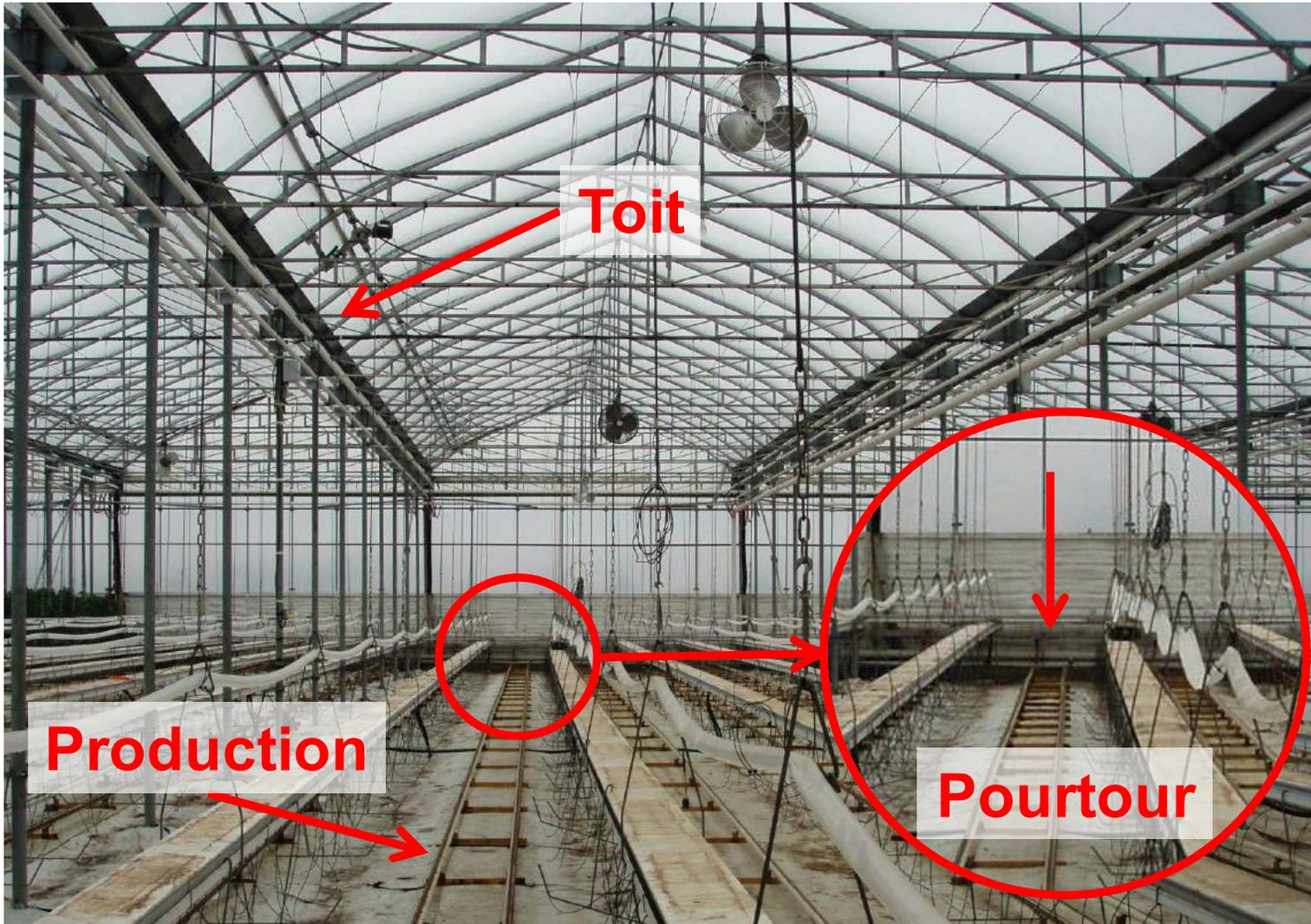
Selon les boucles de chauffe, les entreprises peuvent utiliser des tuyaux à ailettes carrées ou hélicoïdales (**Photo G. 14**) ou des tuyaux lisses (**Photo G. 15**). Les tuyaux à ailettes sont surtout utilisés sur la boucle de chauffe du pourtour de la serre et parfois sous les tables de productions (boucle de chauffe au niveau de la production).

Aujourd'hui, les entreprises serricoles utilisent surtout les tuyaux lisses pour les différentes boucles de chauffe. En effet, les tuyaux à ailettes sont plus dispendieux et moins robustes aux impacts mécaniques au niveau des ailettes.

---

<sup>88</sup> Et parfois lors de tempêtes de verglas.

Photo G. 12 : Boucles de chauffe utilisées dans une serre



Source : CIDES inc.

**Photo G. 13 : Chariot élévateur utilisé dans les serres (production ornementale)**



Source : Pipe rail trolley – [www.steenks-service.nl](http://www.steenks-service.nl)

Le fluide calorporteur utilisé est l'eau. Les entreprises serricoles vont ajouter à l'eau des agents chimiques pour préserver le bon fonctionnement du système de chauffe à eau chaude. Le rôle des agents chimiques est multiple :

- inhiber la corrosion;
- éviter le gel de l'eau dans le système;
- augmenter la température d'ébullition de l'eau dans le système;
- inhiber la croissance de moisissures et de bactéries;
- permettre une meilleure détection de fuite (par exemple, des colorants qui sont fluorescents sous la lumière UV).

L'isolation des tuyaux aux endroits où la chaleur n'est pas nécessaire est souvent négligée par les entreprises serricoles. Ceci peut s'expliquer pour diverses raisons :

- matériau isolant non approprié;
- coût et retour sur l'investissement inconnu;

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

- difficulté à trouver des personnes ressources.

Pour s'assurer dans le temps la flexibilité d'opération, la durabilité et la performance du réseau hydronique, celui-ci doit être conçu par des firmes ou des ingénieurs d'expérience qui intégreront aussi les autres aspects liés à la serriculture ou encore à l'utilisation d'un réservoir d'hydro-accumulation.

**Photo G. 14 : Utilisation de tuyaux à ailettes dans une serre**



Source : CIDES inc.

**Photo G. 15 : Utilisation de tuyaux lisses dans une serre**



Note : il faut éviter que les tuyaux d'eau chaude soient localisés vis-à-vis une surface non isolée.

Source : CIDES inc.

### G.2.4 : Réservoir d'hydro-accumulation

Les fonctions d'un réservoir d'hydro-accumulation sont (12) :

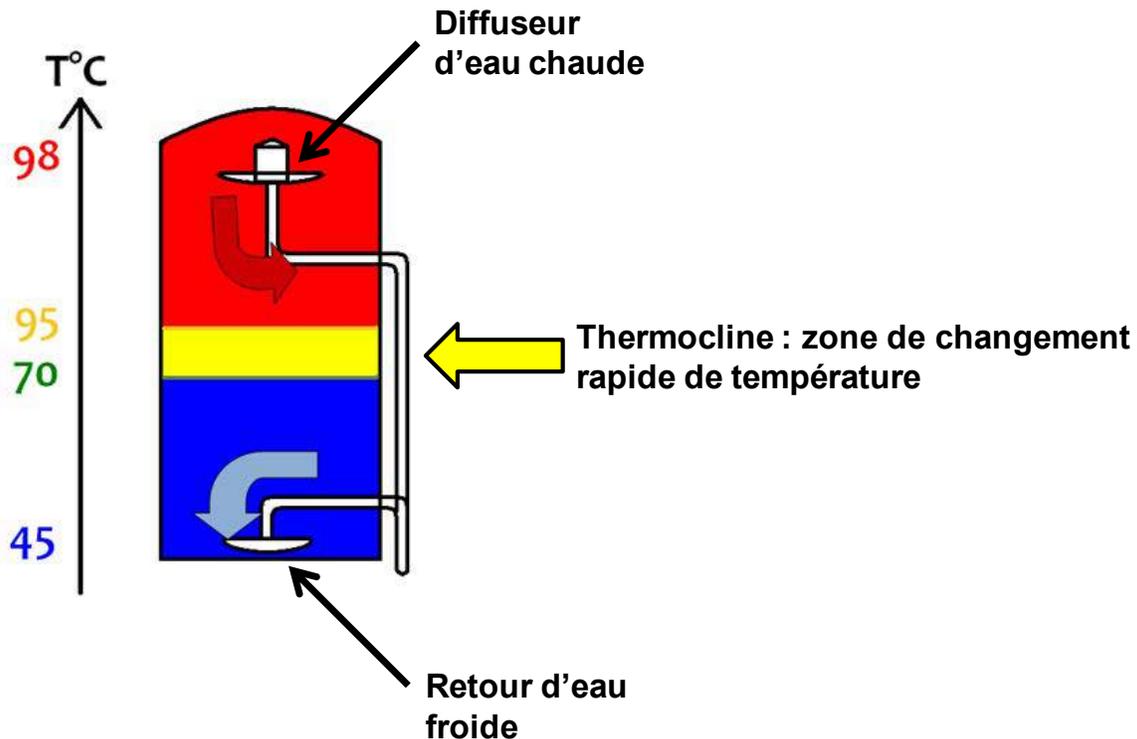
- Emmagasiner la chaleur produite par les systèmes de génération de chaleur lorsque le besoin est faible, et la restituer au besoin;
- Assurer une réserve de chaleur en cas de défaillance ou lors de la maintenance de la chaudière tout en contrôlant les variations de consommation d'énergie;
- Optimiser le rendement et accroître la longévité de la chaudière en améliorant la stabilité de son régime de chauffe.

Lorsqu'une entreprise désire installer un réservoir d'hydro-accumulation, celui-ci doit tenir compte :

- du type de réservoir (horizontal ou vertical);
- des dimensions du réservoir pour répondre au besoin de chauffe;
- de la localisation du réservoir (intérieur ou extérieur d'un bâtiment);
- de la localisation des entrées et sorties d'eau;
- de l'isolation du réservoir et des conduits;
- de l'utilisation de diffuseur pour minimiser le brassage de l'eau dans le réservoir et ainsi préserver la thermocline (**Figure G. 22**);
- de la prise de données diverses pour opérer adéquatement la chauffe (exemples : débits d'eau, températures, consommation d'énergie) et pour analyser la performance du système;
- du système ordonné pour gérer optimalement l'utilisation du réservoir d'hydro-accumulation dans le processus de chauffe de la serre.

Comme on peut le constater, un réservoir d'hydro-accumulation n'est pas qu'un simple réservoir tampon pour entreposer de l'eau chaude.

Figure G. 22 : Strates de température souhaitées dans un réservoir d'hydro-accumulation



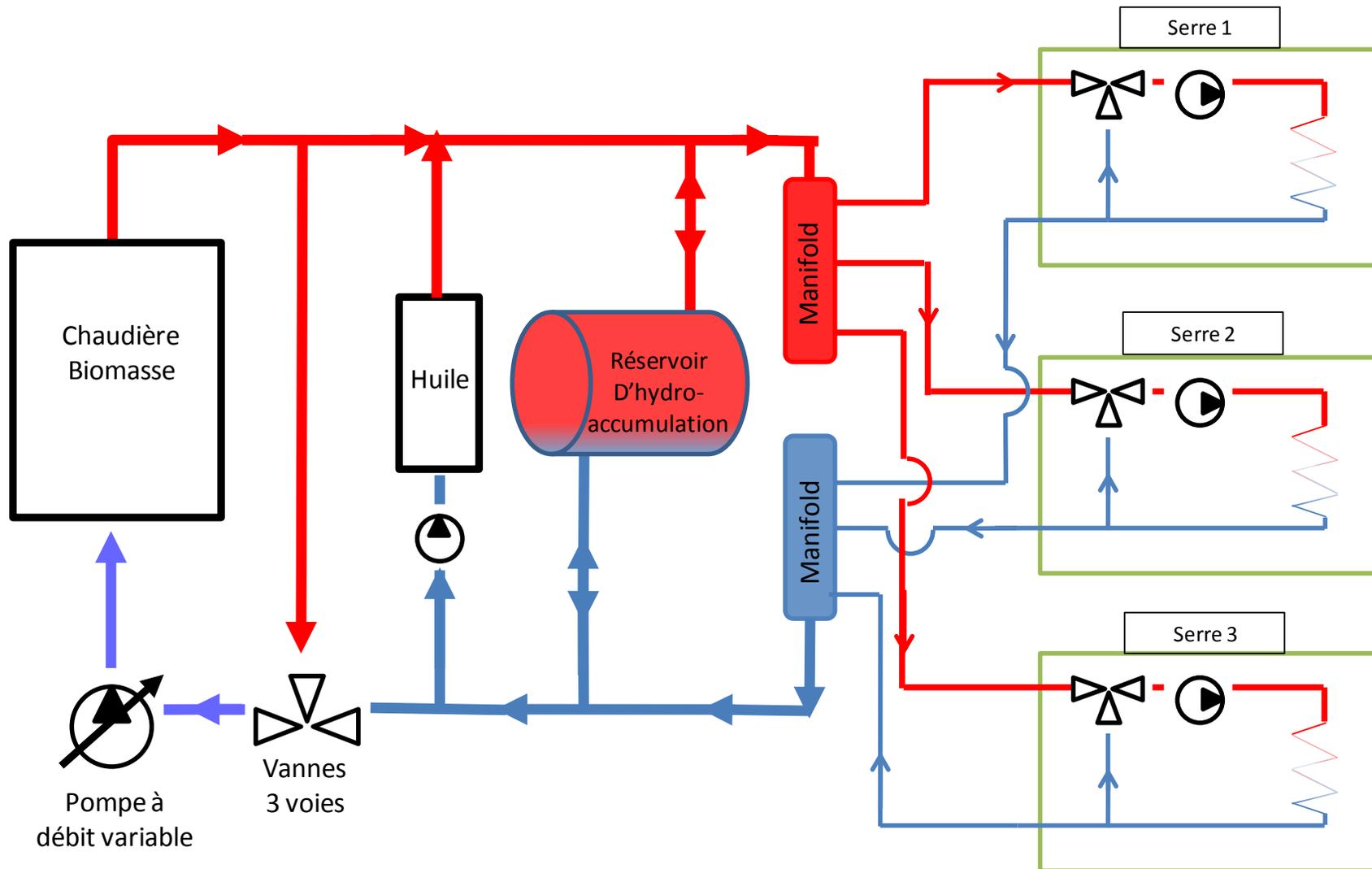
Source : Le stockage thermique intégré aux réseaux de chaleur – Marie Lécollier et François Nicol – Veolia Environnement Recherche & Innovation (18 juillet 2012); Adaptation : CIDES inc.

La plupart des entreprises serricoles qui utilisent un système de génération de chaleur à biomasse ou encore un générateur de CO<sub>2</sub> installent un réservoir d'hydro-accumulation. Cependant, la qualité de conception et la performance des réseaux hydroniques avec réservoir d'hydro-accumulation varient d'une entreprise serricole à l'autre<sup>89</sup> (exemple : réservoir sous dimensionné). Ceci s'explique par le fait que l'expertise dans la conception d'un réseau hydronique avec réservoir d'hydro-accumulation est toute récente au Québec.

Les firmes spécialisées dans le domaine serricole qui installent les réservoirs d'hydro-accumulation proviennent surtout de l'Ontario. De plus, les firmes ontariennes vont faire souvent appel à des firmes spécialisées qui proviennent de la Hollande pour développer les plans et devis. En effet, la Hollande est le pays qui a développé l'utilisation des réservoirs d'hydro-accumulation dans le domaine serricole. La **Figure G. 23** représente un exemple simplifié d'un système de chauffe à biomasse à eau chaude avec réservoir d'hydro-accumulation. La **Photo G. 16** présente le réservoir d'hydro-accumulation installé chez les Serres Lefort.

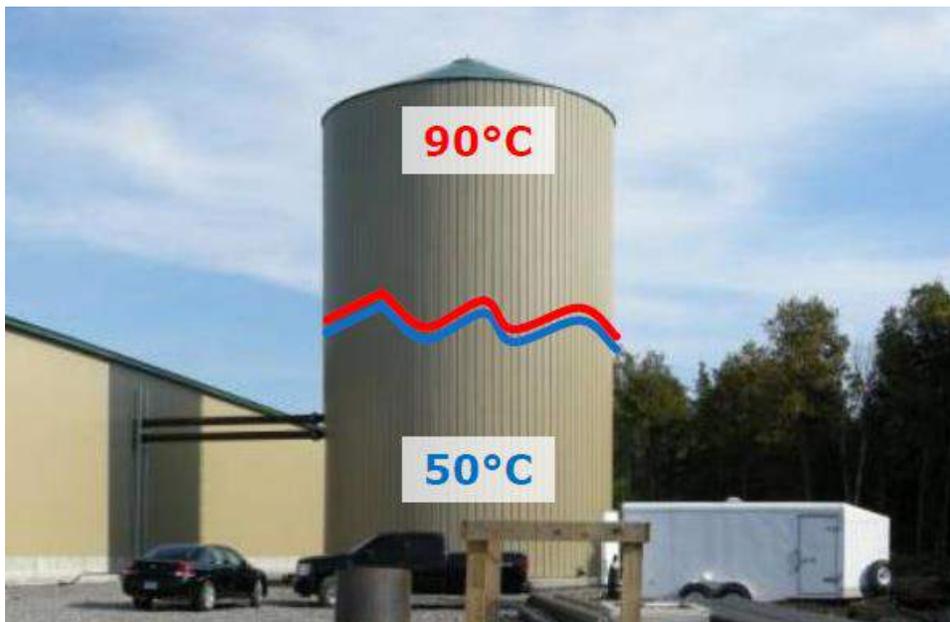
<sup>89</sup> Observations réalisées par le CIDES auprès de diverses entreprises serricoles québécoises dans le cadre de projets et d'audits énergétiques.

Figure G. 23 : Exemple simplifié d'un réseau hydronique avec réservoir d'hydro-accumulation



Source : CIDES inc. et Jean Gobeil et Associés

**Photo G. 16 : Réservoir d'hydro-accumulation du projet de chauffe à biomasse des Serres Lefort**



Source : Jean Gobeil et Associés – Louis-Martin Dion, ing. jr

Si la conception mécanique et électrique d'un système de chauffe avec réservoir d'hydro-accumulation est importante, l'utilisation d'un système de contrôle ordonné compatible avec les autres systèmes est obligatoire pour maximiser la performance d'un tel système (exemple : ordinateur de la bouilloire). Ainsi, le système de contrôle ordonné doit être conçu pour harmoniser les performances des diverses composantes du système de chauffe par une opération et une gestion optimale. Un des paramètres clés pour gérer l'utilisation du réservoir d'hydro-accumulation est d'anticiper les besoins de chauffe sur une période de 24 h avec l'aide de données météo.

### G.2.5 : Plancher chauffant

Un plancher chauffant peut utiliser des conduits, des canalisations ou des câbles électriques pour émettre la chaleur. Cette chaleur peut être générée par diverses sources d'énergie (exemples : câbles électriques, géothermie, mazout léger, gaz naturel, biomasse). La température dégagée par le système doit être contrôlée pour ne pas affecter les plants, la production ou encore blesser le personnel et ainsi respecter les normes existantes (s'il y a lieu).

Au Québec, il y a quelques entreprises qui utilisent les planchers chauffants. Les entreprises serricoles observées étaient de petites et moyennes tailles (< 10 000 m<sup>2</sup>). Par la réalisation des audits énergétiques, tous les planchers chauffants observés par le CIDES utilisaient des conduits d'eau chaude faisant partie d'un réseau hydronique. Pour combler le manque de chaleur en période de pointe, d'autres boucles de chauffe sont installées (exemple : pourtour de la serre). La biomasse, le mazout léger et la géothermie étaient les systèmes utilisés par ces entreprises serricoles pour générer la chaleur. Si les systèmes sont bien conçus, la durée de vie est celle de la serre excluant les appareils pour générer la chaleur.

Il est important que le plancher de la serre permette un drainage adéquat. En effet, il faut éviter la création de flaques d'eau stagnante après l'irrigation de la production. Ainsi, la conception et l'installation de plancher chauffant demandent un niveau d'expertise pour concevoir le système de chauffe, mais aussi pour réaliser adéquatement le plancher de béton. La maintenance du plancher chauffant est simple et associée au réseau hydronique.

Ce type de système de distribution de chaleur a principalement trois avantages :

1. Uniformité du climat accrue dans la serre;
2. Système non encombrant pour une production au niveau du sol;
3. Transfert optimal de la chaleur dans la serre et aux plants pour une production au niveau du sol (chauffage racinaire des plants et microclimat optimal au niveau des plants).

#### Isolation

L'isolation adéquate du plancher chauffant est importante, car elle permet de limiter la perte de chaleur dans le sol et du même coup, réduire le temps pour augmenter la chaleur du plancher chauffant (masse de béton).

Une entreprise serricole auditée en 2009 par le CIDES possédait plusieurs serres avec des planchers chauffants. Les planchers chauffants étaient contrôlés de façon indépendante et avaient les mêmes composantes au niveau de la chauffe. Une des serres possédait un plancher chauffant où la base était isolée avec un matériau réfléchissant en aluminium à bulles. Les autres étaient isolées à la base avec des panneaux isolants de type polystyrène expansé haute densité résistants à l'eau et à l'humidité. Après plusieurs années d'utilisation et selon les commentaires de l'entreprise, les serres qui utilisaient des panneaux isolants étaient plus faciles à opérer et offraient de meilleurs rendements que celle utilisant l'isolant de type à bulle. Ceci peut s'expliquer. Il y a un mythe qui circule disant qu'un isolant à bulle avec

barrière réfléchissante offre un facteur isolant équivalent à R-10 sous une dalle de béton ou équivalent à un panneau isolant de type polystyrène de 2". La « Reflective Insulation Manufacturers Association International (RIMA) »<sup>90</sup> indique sur leur site Internet que cette affirmation n'est pas acceptée par l'industrie et autres organismes qui testent les matériaux isolants. En effet, les produits installés sous les dalles de béton ne peuvent pas réfléchir la chaleur, car il n'y a aucun espace d'air. Ainsi, les bénéfices d'un isolant à bulle avec barrière réfléchissante ne peuvent pas survenir dans ces conditions. De plus, le facteur isolant de l'isolant à bulle est beaucoup plus faible que celui d'un panneau isolant de type polystyrène expansé.

La « Régie du bâtiment du Québec » exige que les planchers de sous-sol des nouvelles habitations ayant des conduits, des canalisations ou du câblage pour un chauffage par rayonnement aient un facteur isolant minimal de RSI-1,76 (R-10) (13). La plupart du temps, les maisons vont utiliser un facteur isolant de RSI-3,52 (R-20). Pour maximiser la performance et l'utilisation des planchers chauffants, cette exigence pour les bâtiments pourrait être aussi appliquée de façon volontaire<sup>91</sup> par les entreprises serrioles québécoises qui utilisent dans les serres les planchers chauffants.

Au niveau de l'isolation du pourtour des serres sous le niveau du sol, il est habituellement recommandé d'isoler sur 61 cm (≈ 2 pieds). La jonction entre l'isolation du pourtour de la serre et du sol sous le plancher chauffant devra assurer une étanchéité adéquate.

L'utilisation d'un système de drainage sous le plancher chauffant et le pourtour de la serre serait obligatoire pour préserver la durabilité de l'isolation et du plancher chauffant. La **Photo G. 17** montre les dégâts sur le pourtour d'une serre du à l'action du gel et dégel. Ces dégâts proviennent du fait qu'il n'existait pas de système de drainage sur le pourtour et sous la serre. La serre est localisée sur un site où le niveau de la nappe phréatique est élevé.

---

<sup>90</sup> <http://www.rimainternational.org>

<sup>91</sup> À moins qu'il existe une réglementation spécifique à ce sujet qui s'appliquerait aussi pour les serres au Québec. Ce que les auteurs n'ont pas observé. Aussi, l'entreprise devra effectuer une analyse technico-économique pour choisir la meilleure méthodologie pour isoler le plancher chauffant.

**Photo G. 17 : Dégât possible sur le mur de pourtour d'une serre n'ayant pas de système de drainage (action gel-dégel)**



Source : CIDES inc.

### G.2.6 : Chauffage localisé

Autre que le plancher chauffant, il existe d'autres dispositifs qui permettent un chauffage localisé dans les serres. Ces systèmes sont souvent utilisés avant tout comme un outil à la production. La plupart des entreprises qui produisent des boutures utilisent le chauffage localisé.

D'une part, ces dispositifs contribuent de façon importante à la chauffe des serres. D'autre part, ce type de chauffe permet d'optimiser le microclimat au niveau du plant pour favoriser l'évapotranspiration.

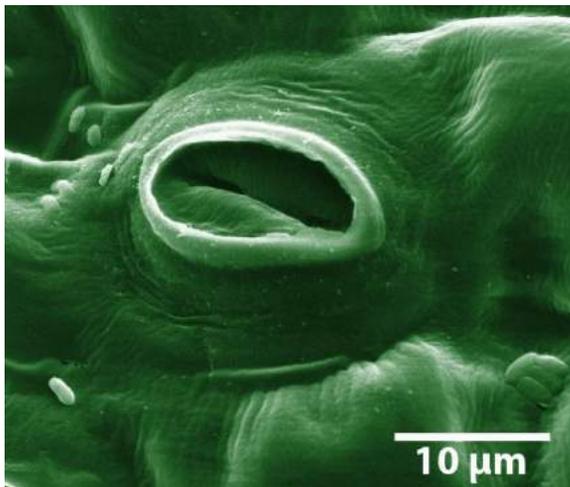
#### G.2.6.1 : Le déficit de pression de vapeur (DPV)

L'évapotranspiration permet à la plante d'effectuer les échanges gazeux nécessaires pour sa survie et sa croissance (voir la **Figure G. 24**). Voici une description sommaire de l'évapotranspiration telle que décrite sur Wikipédia :

*La transpiration chez les plantes est le processus continu causé par l'évaporation d'eau par les feuilles et la reprise qui y correspond à partir des racines dans le sol.*

*La transpiration est le principal moteur dans la circulation de la sève et se produit essentiellement au niveau des stomates (voir la **Photo G. 18**). La régulation de leur ouverture influence donc directement l'intensité de la transpiration.*

#### Photo G. 18 : Stomate sur une feuille d'un plant de tomate



Source : Wikipédia

*Le rôle de la transpiration chez les végétaux est multiple : elle est le moteur de la circulation de la sève brute dans le xylème, elle favorise dans une certaine mesure le rafraîchissement des plantes et elle permet le transfert des sels minéraux aux endroits où la plante en a besoin, principalement dans les feuilles qui sont le siège de la photosynthèse.*

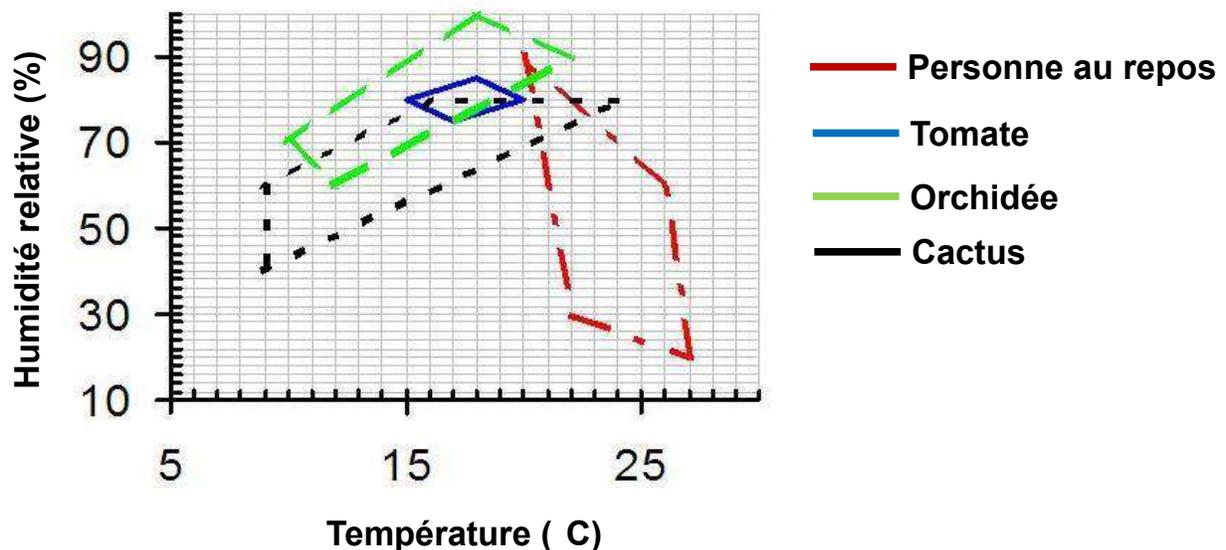
Figure G. 24 : Échanges gazeux au niveau d'une feuille



Source : Wikipédia

Or, la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air va influencer l'évapotranspiration d'une plante. La meilleure façon de gérer l'humidité du point de vue de la plante est de gérer le déficit de pression de vapeur (DPV). Chaque type de plante a une zone de confort (DPV optimal) pour favoriser l'évapotranspiration. Le **Graphique G. 4** présente différentes zones de confort pour l'être humain et types de plantes en fonction de la température et de l'humidité relative.

Graphique G. 4 : Zones de confort pour l'être humain et différents types de plantes



Source : Jean-Marc Boudreau, ing. – Notes de cours – La serre : du désert à la forêt tropicale (quelques outils pour stabiliser l'humidité dans vos serres) - ITA de Saint-Hyacinthe (2005)

Au Québec, les entreprises serricoles sont plus familières à gérer l'humidité en utilisant l'humidité relative et la température du bulbe sec. L'humidité relative est le rapport entre la pression de vapeur d'eau vraiment présente dans l'air (pression partielle de l'eau dans l'air) et la valeur de pression à saturation pour une température donnée. Elle est exprimée le plus souvent en pourcentage.

Or, si la température augmente ou diminue, alors la quantité de vapeur d'eau contenue par kilogramme d'air sec variera même si l'humidité relative demeure fixe. Ceci peut donner une impression que l'humidité dans l'air ne varie pas. Ainsi, une gestion de l'humidité dans la serre à partir seulement d'une consigne liée à l'humidité relative est non appropriée.

À titre d'exemple le **Tableau G. 3** présente la quantité de vapeur d'eau contenue par kilogramme d'air sec<sup>92</sup> pour différentes températures du bulbe sec et une humidité relative fixe à 70 %.

**Tableau G. 3 : Quantité de vapeur d'eau contenue par kilogramme d'air sec pour différentes températures du bulbe sec et une humidité relative fixe à 70 %**

Température (bulbe sec)	Humidité relative	Quantité de vapeur d'eau / kg d'air sec
°C	%	g/kg
5	70	3,8
10	70	5,2
15	70	7,5
20	70	14,8
25	70	20,1

Pour revenir au DPV, celui-ci est la différence entre la pression de vapeur d'eau à saturation et la pression de vapeur d'eau dans la serre. Il indique la quantité de vapeur d'eau nécessaire pour atteindre la saturation indépendamment de la température, c'est en fait une mesure de la demande en évapotranspiration.

Avec une charte psychrométrique<sup>93</sup> (voir le **Graphique G. 5**), l'entreprise serricole peut évaluer le DPV s'il y a :

- la température du bulbe sec et l'humidité relative ou
- la température du bulbe sec et la température du bulbe humide.

À titre d'exemple, la pression de vapeur d'eau est de 2,34 kPa, lorsque la température du bulbe sec est de 20°C et que l'humidité relative est de 100 % (pression de vapeur d'eau à saturation). La pression de vapeur d'eau est de 1,64 kPa, lorsque la température du bulbe sec est de 20°C et que l'humidité relative est de 70 % (condition climatique mesurée). Ainsi, le DPV vaut 0,70 kPa ( $DPV = 0,70 = 2,34 - 1,64$ ) ou 7,0 mbar (1 kPa = 10 mbar).

Plus le DPV est élevé, plus l'humidité est faible et plus l'évapotranspiration est importante. Ceci indique qu'il faut habituellement humidifier l'air de la serre pour que la plante demeure dans sa zone de confort.

<sup>92</sup> Avec une pression barométrique de 101,325 kPa, la masse de l'air sec pour un volume de 1 m<sup>3</sup> varie selon la température : 0°C = 1,292 kg/m<sup>3</sup>, 5°C = 1,269 kg/m<sup>3</sup>, 10°C = 1,247 kg/m<sup>3</sup>, 15°C = 1,225 kg/m<sup>3</sup>, 20°C = 1,204 kg/m<sup>3</sup>, 25°C = 1,184 kg/m<sup>3</sup>, 30°C = 1,164 kg/m<sup>3</sup>, 35°C = 1,146 kg/m<sup>3</sup>.

<sup>93</sup> La plupart des chartes sont pour une pression barométrique de 101,125 kPa au niveau de la mer. Cependant, certaines chartes vont avoir un tableau avec des facteurs de correction pour tenir compte de l'altitude du lieu par rapport au niveau de la mer. En effet, en altitude la pression barométrique est moindre.

Plus le DPV est faible, plus l'humidité est élevée et plus l'évapotranspiration est faible. Ceci indique qu'il faut déshumidifier la serre pour que la plante demeure dans sa zone de confort.

Le **Tableau G. 4** présente différents DPV selon l'humidité relative et la température du bulbe sec. La zone en vert indique les conditions idéales pour la plante au niveau de l'évapotranspiration. Cette zone de confort (zone verte) est spécifique au type et au stade de croissance de la plante. Généralement, le DPV idéal pour la plupart des plantes se situe entre 8 et 10 mbar ou 0,8 et 1 kPa. En tenant compte du type de plante et de son stade de croissance, l'agronome va spécifier aux producteurs la zone de confort. La zone en rouge indique qu'il faudra humidifier la serre. Tandis que la zone en bleu indique qu'il faudra déshumidifier la serre. Les zones en blanc sont des zones intermédiaires.

Graphique G. 5 : Charte psychrométrique

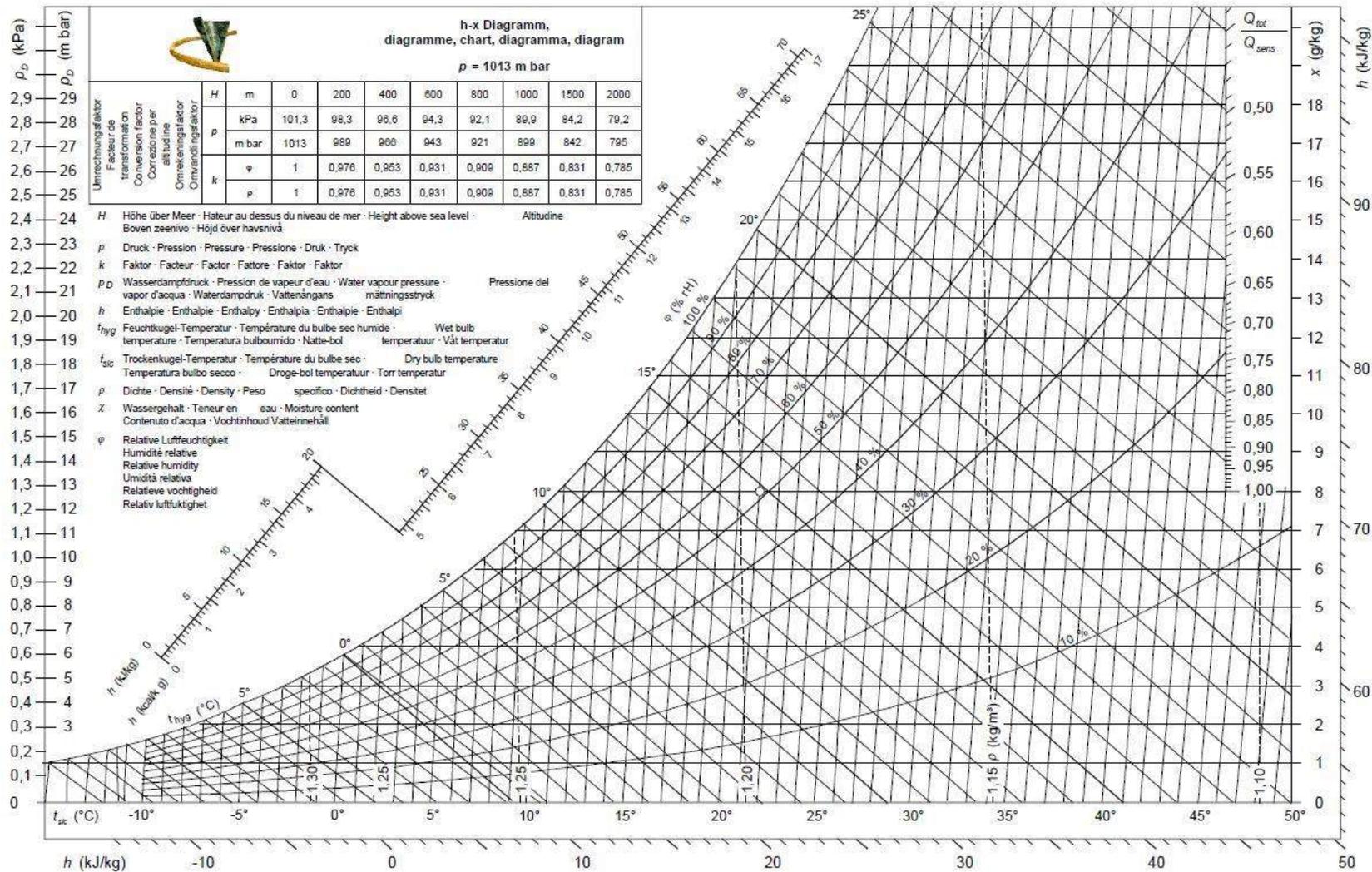


Tableau G. 4 : DPV et zone de confort pour la plupart des plantes<sup>94</sup>

		DPV (mbar)																				
		Humidité relative (%)																				
		100	95	90	85	80	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5	0
0	0,0	0,3	0,6	0,9	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	3,1	3,4	3,7	4,0	4,3	4,6	4,9	5,2	5,5	5,8	6,1	
1	0,0	0,3	0,7	1,0	1,3	1,6	2,0	2,3	2,6	3,0	3,3	3,6	3,9	4,3	4,6	4,9	5,3	5,6	5,9	6,2	6,6	
2	0,0	0,4	0,7	1,1	1,4	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2	3,5	3,9	4,2	4,6	4,9	5,3	5,6	6,0	6,4	6,7	7,1	
3	0,0	0,4	0,8	1,1	1,5	1,9	2,3	2,7	3,0	3,4	3,8	4,2	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,4	6,8	7,2	7,6	
4	0,0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,3	3,7	4,1	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	7,3	7,7	8,1	
5	0,0	0,4	0,9	1,3	1,7	2,2	2,6	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,2	5,7	6,1	6,5	7,0	7,4	7,9	8,3	8,7	
6	0,0	0,5	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8	3,3	3,7	4,2	4,7	5,1	5,6	6,1	6,5	7,0	7,5	7,9	8,4	8,9	9,4	
7	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	
8	0,0	0,5	1,1	1,6	2,1	2,7	3,2	3,8	4,3	4,8	5,4	5,9	6,4	7,0	7,5	8,0	8,6	9,1	9,7	10,2	10,7	
9	0,0	0,6	1,1	1,7	2,3	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2	5,7	6,3	6,9	7,5	8,0	8,6	9,2	9,8	10,3	10,9	11,5	
10	0,0	0,6	1,2	1,8	2,5	3,1	3,7	4,3	4,9	5,5	6,1	6,8	7,4	8,0	8,6	9,2	9,8	10,4	11,1	11,7	12,3	
11	0,0	0,7	1,3	2,0	2,6	3,3	3,9	4,6	5,3	5,9	6,6	7,2	7,9	8,5	9,2	9,8	10,5	11,2	11,8	12,5	13,1	
12	0,0	0,7	1,4	2,1	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	13,3	14,0	
13	0,0	0,7	1,5	2,2	3,0	3,7	4,5	5,2	6,0	6,7	7,5	8,2	9,0	9,7	10,5	11,2	12,0	12,7	13,5	14,2	15,0	
14	0,0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0	8,8	9,6	10,4	11,2	12,0	12,8	13,6	14,4	15,2	16,0	
15	0,0	0,9	1,7	2,6	3,4	4,3	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5	9,4	10,2	11,1	11,9	12,8	13,6	14,5	15,3	16,2	17,1	
16	0,0	0,9	1,8	2,7	3,6	4,5	5,5	6,4	7,3	8,2	9,1	10,0	10,9	11,8	12,7	13,6	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2	
17	0,0	1,0	1,9	2,9	3,9	4,8	5,8	6,8	7,8	8,7	9,7	10,7	11,6	12,6	13,6	14,5	15,5	16,5	17,4	18,4	19,4	
18	0,0	1,0	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,2	8,3	9,3	10,3	11,4	12,4	13,4	14,4	15,5	16,5	17,5	18,6	19,6	20,6	
19	0,0	1,1	2,2	3,3	4,4	5,5	6,6	7,7	8,8	9,9	11,0	12,1	13,2	14,3	15,4	16,5	17,6	18,7	19,8	20,9	22,0	
20	0,0	1,2	2,3	3,5	4,7	5,8	7,0	8,2	9,4	10,5	11,7	12,9	14,0	15,2	16,4	17,5	18,7	19,9	21,0	22,2	23,4	
21	0,0	1,2	2,5	3,7	5,0	6,2	7,5	8,7	9,9	11,2	12,4	13,7	14,9	16,2	17,4	18,7	19,9	21,1	22,4	23,6	24,9	
22	0,0	1,3	2,6	4,0	5,3	6,6	7,9	9,3	10,6	11,9	13,2	14,5	15,9	17,2	18,5	19,8	21,2	22,5	23,8	25,1	26,4	
23	0,0	1,4	2,8	4,2	5,6	7,0	8,4	9,8	11,2	12,6	14,0	15,5	16,9	18,3	19,7	21,1	22,5	23,9	25,3	26,7	28,1	
24	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0	7,5	9,0	10,4	11,9	13,4	14,9	16,4	17,9	19,4	20,9	22,4	23,9	25,4	26,9	28,3	29,8	
25	0,0	1,6	3,2	4,8	6,3	7,9	9,5	11,1	12,7	14,3	15,8	17,4	19,0	20,6	22,2	23,8	25,3	26,9	28,5	30,1	31,7	
26	0,0	1,7	3,4	5,0	6,7	8,4	10,1	11,8	13,4	15,1	16,8	18,5	20,2	21,8	23,5	25,2	26,9	28,6	30,3	31,9	33,6	
27	0,0	1,8	3,6	5,3	7,1	8,9	10,7	12,5	14,3	16,0	17,8	19,6	21,4	23,2	25,0	26,7	28,5	30,3	32,1	33,9	35,7	
28	0,0	1,9	3,8	5,7	7,6	9,4	11,3	13,2	15,1	17,0	18,9	20,8	22,7	24,6	26,5	28,3	30,2	32,1	34,0	35,9	37,8	
29	0,0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	22,0	24,0	26,0	28,0	30,0	32,0	34,0	36,1	38,1	40,1	
30	0,0	2,1	4,2	6,4	8,5	10,6	12,7	14,9	17,0	19,1	21,2	23,3	25,5	27,6	29,7	31,8	33,9	36,1	38,2	40,3	42,4	
31	0,0	2,2	4,5	6,7	9,0	11,2	13,5	15,7	18,0	20,2	22,5	24,7	27,0	29,2	31,4	33,7	35,9	38,2	40,4	42,7	44,9	
32	0,0	2,4	4,8	7,1	9,5	11,9	14,3	16,6	19,0	21,4	23,8	26,2	28,5	30,9	33,3	35,7	38,0	40,4	42,8	45,2	47,5	
33	0,0	2,5	5,0	7,5	10,1	12,6	15,1	17,6	20,1	22,6	25,2	27,7	30,2	32,7	35,2	37,7	40,2	42,8	45,3	47,8	50,3	
34	0,0	2,7	5,3	8,0	10,6	13,3	16,0	18,6	21,3	23,9	26,6	29,3	31,9	34,6	37,2	39,9	42,6	45,2	47,9	50,5	53,2	
35	0,0	2,8	5,6	8,4	11,2	14,1	16,9	19,7	22,5	25,3	28,1	30,9	33,7	36,5	39,4	42,2	45,0	47,8	50,6	53,4	56,2	
36	0,0	3,0	5,9	8,9	11,9	14,9	17,8	20,8	23,8	26,7	29,7	32,7	35,6	38,6	41,6	44,6	47,5	50,5	53,5	56,4	59,4	
37	0,0	3,1	6,3	9,4	12,5	15,7	18,8	22,0	25,1	28,2	31,4	34,5	37,6	40,8	43,9	47,1	50,2	53,3	56,5	59,6	62,7	
38	0,0	3,3	6,6	9,9	13,2	16,6	19,9	23,2	26,5	29,8	33,1	36,4	39,7	43,1	46,4	49,7	53,0	56,3	59,6	62,9	66,2	
39	0,0	3,5	7,0	10,5	14,0	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0	38,5	41,9	45,4	48,9	52,4	55,9	59,4	62,9	66,4	69,9	
40	0,0	3,7	7,4	11,1	14,8	18,4	22,1	25,8	29,5	33,2	36,9	40,6	44,3	47,9	51,6	55,3	59,0	62,7	66,4	70,1	73,8	

Note : La zone de confort ou le DPV optimal recherché pour les plantes est la zone ombragée en vert. Cependant, cette zone de confort peut varier selon le type et le stade de croissance de la plante. La zone en rouge indique qu'il faudra humidifier la serre. Tandis que la zone en bleu indique qu'il faudra déshumidifier la serre. Les zones en blanc sont des zones intermédiaires.

Source : CIDES inc.

<sup>94</sup> Pour une pression barométrique de 101,125 kPa.

#### G.2.6.2 : Généralités

La température émise par le système de chauffe localisé doit être contrôlée pour ne pas affecter les plants, la production ou encore, blesser le personnel. Généralement, la température de l'eau utilisée pour le chauffage localisé est inférieure à 50°C.

Ces dispositifs sont en général simples à installer, à opérer et à maintenir. Les systèmes peuvent être opérés manuellement ou par le système de contrôle de la serre. Ce dernier est à privilégier.

Le coût des dispositifs peut rebuter certaines entreprises serricoles. Toutefois, seule une analyse détaillée indiquera sa pertinence ou non. Ainsi, une entreprise serricole doit non seulement tenir compte des économies d'énergie possibles, mais surtout des bénéfices qu'elle retirera au niveau de la production. En effet, les bénéfices associés à la production sont la plupart du temps plus importants que les bénéfices énergétiques. Dans tous les cas, l'entreprise serricole devra consulter un agronome pour valider qu'un tel dispositif puisse s'appliquer au type de production réalisé par l'entreprise.

#### G.2.6.3 : Impacts observés

Le chauffage localisé permet de réduire les coûts de chauffage et de production. Au niveau de la production et selon la technologie choisie, un tel dispositif peut aider à :

- développer un système racinaire plus vigoureux;
- développer un plant plus résistant aux maladies ou encore aux périodes chaudes;
- réduire le cycle de production (croissance plus rapide);
- augmenter la production en qualité et en quantité (exemples : plants, fruits, légumes).

Au niveau énergétique, la chauffe localisée permet d'augmenter l'efficacité de la chauffe. En effet, chaque unité de chaleur produite par le système de génération de chaleur parcourt une plus petite distance et le transfert à la plante de façon plus précise.

Avec ces avantages, l'entreprise peut aussi développer des stratégies d'opération. Par exemple, une entreprise serricole qui commence la chauffe des serres le 1<sup>er</sup> mars pourrait avec un tel dispositif commencer la chauffe dix jours plus tard. Or, dix jours plus tard en mars peuvent représenter des économies d'énergie non négligeables. Autre exemple, une vitesse de croissance plus rapide peut permettre à une entreprise serricole d'arriver sur le marché plus rapidement et ainsi profiter d'opportunité d'affaires qu'il ne pouvait pas obtenir antérieurement.

#### G.2.6.4 :Tapis chauffant

Pour cette section, le terme « Tapis chauffant » englobe tout système émetteur de chaleur qui peut être déployé sur une surface (exemple : une table servant à la production en serre). Le tapis chauffant peut émettre de la chaleur via un câble électrique ou par la circulation d'eau chaude dans des conduits. Dans ce dernier cas, la conception du réseau de conduits doit permettre une émission homogène de la chaleur sur toute la superficie du tapis. Certains de ces dispositifs intègrent un système d'irrigation capillaire.

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

Comme pour le plancher chauffant, l'isolation de la base est recommandée. La conception d'une table chauffante avec isolation à la base doit permettre le drainage des eaux d'irrigation et de rencontrer les exigences du fabricant des tapis chauffants. Le matériau isolant doit être protégé de l'eau, de l'humidité et du soleil. Un panneau isolant extrudé ou expansé de 1,27 cm (½") d'épaisseur est un matériau qui isole suffisamment bien et assez rigide pour le manipuler sans le briser. L'isolant à bulles avec ou sans matériau réfléchissant en aluminium n'est pas aussi intéressant et performant que les panneaux isolants extrudés ou expansés.

**Photo G. 19, Photo G. 20, Photo G. 21 et Photo G. 22** représentent quelques types de tapis chauffant utilisés dans les serres québécoises.

**Photo G. 19 : Exemple n° 1 d'un tapis chauffant (eau chaude)**



Source : Roll-N-Grow™ – TrueLeaf Technologies – [www.trueleaf.net](http://www.trueleaf.net)

**Photo G. 20 : Exemple n° 2 d'un tapis chauffant (eau chaude)**



Source : BioTherm® Benchwarmer Kit – TrueLeaf Technologies – [www.trueleaf.net](http://www.trueleaf.net)

**Photo G. 21 : Exemple d'un tapis chauffant (eau chaude) avec irrigation capillaire**



Source : Aquathermat© – Soleno Textiles inc. – [www.aquamatsystem.com](http://www.aquamatsystem.com)

**Photo G. 22 : Exemple de panneaux chauffants en fibrociment (serpentin électrique)**



Source : CIDES inc. ([www.cides.qc.ca](http://www.cides.qc.ca)) – Copal Canada Ltée ([www.copal.ca](http://www.copal.ca))

#### G.2.6.5 : Growing pipe

« Growing pipe » est le terme anglophone qui peut être traduit par « tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée ». Il a pour fonction de stimuler le plant pour qu'il puisse produire de façon optimale.

La technologie consiste à passer un tuyau en acier à l'intérieur de la canopée de chacun des rangs des plants. Les tuyaux peuvent être amovibles. Les diamètres varient entre 28 mm et 35 mm et une épaisseur de paroi d'environ 1,2 mm. Ce petit diamètre permet un meilleur contrôle sur la chaleur émise. Généralement, les tuyaux sont protégés de la corrosion et recouverts d'une peinture blanche lustrée pour maximiser la réflexion de la lumière.

L'eau chaude vient généralement du circuit d'eau chaude utilisé pour le chauffage de la serre. L'implantation d'un tel système avec un réseau de chauffe existant demande des connaissances sur la conception de réseau hydronique.

L'eau chaude y circule à une température inférieure à 50°C, ceci pour éviter des dommages aux plants. La chaleur émise crée un microclimat favorisant une gestion optimale de l'humidité au niveau de la canopée. Un système de contrôle permet une bonne gestion de l'eau chaude qui circule dans le réseau des « growing pipe ». La **Photo G. 23** et la **Figure G. 24** présentent un exemple d'un tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée.

**Photo G. 23 : Tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée : production maraîchère**



Source : Long products – Precision Tubes – Forcas – Tata Steel ([www.tatasteeleurope.com](http://www.tatasteeleurope.com))

**Photo G. 24 : Tuyau de chauffe à l'intérieur de la canopée : production ornementale**



Source : Long products – Precision Tubes – Forcas – Tata Steel ([www.tatasteeleurope.com](http://www.tatasteeleurope.com))

Cette technologie permet de réduire :

- les coûts de chauffage liés à la déshumidification (utilisation moindre de la déshumidification par ventilation et chauffage);
- les maladies sur les plants, d'où l'augmentation des rendements de production en qualité et en quantité.

Bref, la quantité d'énergie utilisée pour produire un plant, ou un kilogramme de fruits ou de légumes sera plus basse par rapport au système de chauffe conventionnel. Diverses stratégies peuvent être développées selon le niveau de croissance de la plante et la période de l'année pour l'utiliser de façon efficiente.

Le coût varie d'une entreprise à l'autre en fonction des systèmes en place. Le coût d'un tel système peut varier entre 8,05 \$/m<sup>2</sup> et 11,50 \$/m<sup>2</sup> de plancher de serre servant à la production. Le coût supplémentaire provient principalement de la main-d'œuvre et du matériel pour :

- installer les tuyaux de chauffe au niveau de la canopée;
- gérer la chaleur émise au niveau de la canopée (exemples : valve-mélangeuse, contrôle).

Il n'y a pas de maintenance spécifique avec cette technologie. La maintenance est la même que pour un réseau hydronique. La durée de vie est la même que pour un système de distribution de chaleur à eau chaude soit 25 ans.

### G.3 : Autres éléments

#### G.3.1 : Systèmes de contrôle

Le Syndicat des producteurs en serre du Québec a publié une fiche sur les systèmes de contrôle en serre. Cette fiche présente une démarche pour choisir et implanter un tel système ([www.spsq.info](http://www.spsq.info)).

Le système de contrôle en serre peut être défini de la façon suivante (14) :

*Un système de contrôle est un système électromécanique (exemple : thermostat) ou électronique (exemples : automate, ordinateur, thermostat électronique) contrôlant le fonctionnement d'un équipement.*

Le système de contrôle opère à partir :

- De données reçues d'un ou plusieurs capteurs sur une période de temps déterminée;
- D'une programmation intégrée dans un automate ou un ordinateur;
- De consignes attribuées par l'opérateur de l'équipement contrôlé.

Les systèmes de contrôle peuvent être classés en trois niveaux avec quelques exemples de produits (14) :

- Simple (alarmes, appareils de mesure, minuterie, thermostat);
- Intermédiaire (Envirotrol TC-7/Harnois; iGrow 1400/Link4);
- Intégré (Argus, Damatex, Hoogendoorn, Priva).

La plupart du temps, les systèmes les plus évolués vont intégrer les fonctions réalisées par les systèmes les moins évolués.

Selon le type de système de contrôle choisi par l'entreprise serricole, celui-ci peut aider l'entreprise serricole à réaliser ces fonctions (14) :

- *Faciliter la recherche, l'établissement et le contrôle des conditions optimales pour la culture;*
- *Ajuster en tout temps le climat ou d'autres paramètres de production de la serre en fonction :*
  - *de consignes précisées par le producteur,*
  - *du climat extérieur et intérieur,*
  - *des anticipations climatiques,*
  - *des anticipations des conditions de culture;*
- *Sécuriser les conditions de cultures ou d'opération;*
- *Réaliser des économies de consommation d'énergie;*
- *Rallonger la vie utile des équipements;*
- *Optimiser l'utilisation du temps de travail pour opérer la serre;*
- *Améliorer la qualité de vie reliée au travail.*

Comme on peut le constater, un système de contrôle est un outil précieux pour l'entreprise serricole non seulement pour contrôler et opérer les différents systèmes qu'on retrouve dans une serre (exemples : chauffe, déshumidification, ventilation), mais aussi optimiser la production (exemples :

analyses des données climatiques, développement de stratégies de chauffe pour optimiser la production tout en minimisant l'énergie utilisée pour la chauffe).

Aujourd'hui, de plus en plus d'entreprises vont utiliser des systèmes de contrôle de niveau intermédiaire ou intégré, car ceux-ci permettent d'harmoniser le fonctionnement des divers systèmes qu'on retrouve dans une entreprise serricole et ainsi obtenir les fonctions recherchées et énumérées précédemment.

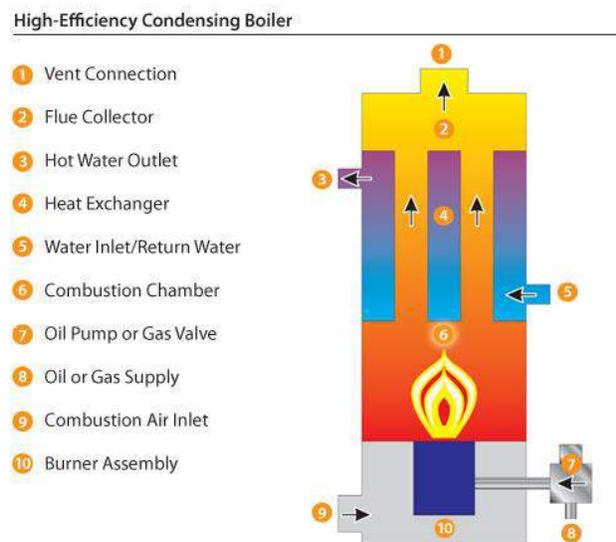
L'utilisation d'un système de contrôle en serre de niveau intégré est essentielle pour les systèmes de chauffe non conventionnels (exemple : biogaz, biomasse, géothermie, rejets thermiques), car ces systèmes offrent plus de flexibilité pour programmer et opérer de façon efficiente de tels systèmes.

Pour que le système de contrôle en serre puisse fonctionner adéquatement, il faut que celui-ci soit compatible avec les systèmes en place. Aussi, il est important pour l'entreprise serricole de valider selon les règles de l'art et au moins une fois par année les données acquises par les différents capteurs.

### G.3.2 : Fournaises et bouilloires à condensation à haute efficacité

Depuis quelques années, des systèmes au gaz naturel et au mazout léger récupèrent la chaleur provenant des gaz de combustion. Le concept consiste à récupérer la chaleur latente engendrée par la condensation de la vapeur d'eau sur un échangeur de chaleur de la fournaise ou de la bouilloire<sup>95</sup> (Figure G. 25).

Figure G. 25 : Concept d'un appareil de chauffage à condensation (mazout léger ou gaz naturel)



Source : Air-Conditioning, Heating, and Refrigeration Institute ([www.ahrinet.org](http://www.ahrinet.org))

Le **Tableau G. 5** présente le taux de chaleur d'origine latente de la combustion d'une unité d'un combustible donné. Si théoriquement on peut récupérer la chaleur latente provenant d'autres sources

<sup>95</sup> Généralement, un appareil de chauffage à condensation aura deux échangeurs de chaleur. Un des deux échangeurs sera dédié à la récupération de la chaleur latente.

d'énergie (exemples : biomasse, mazout lourd), seuls les appareils à condensation au gaz naturel, au propane et au mazout léger ont été développés dans les dernières années peuvent être intéressants d'un point de vue techno-économique<sup>96</sup>.

**Tableau G. 5 : Taux de chaleur d'origine latente de la combustion d'une unité d'un combustible donné**

Combustible	Unité	PCS <sup>97</sup>	PCI <sup>98</sup>	Chaleur latente	
		MJ/unité	MJ/unité	MJ/unité	Taux de chaleur latente
Électricité	kWh	3,60	3,60	n.a	n.a
Gaz naturel	m <sup>3</sup>	37,89	34,10	3,79	10,0 %
Mazout léger n° 2	L	38,80	36,47	2,33	6,0 %
Mazout lourd (n° 5 et n° 6)	L	42,50	40,38	2,13	5,0 %
Propane	L	25,53	23,49	2,04	8,0 %
Gaz naturel : PCI/PCS = 0,90 - Taux de conversion utilisé par Gaz Métro Mazout léger n° 2 : PCI/PCS #2 Fuel Oil = 0,940 - Source : <a href="http://www.chpcentermw.org">www.chpcentermw.org</a> Mazout lourd (n° 5 et n° 6) : PCI/PCS #6 Fuel Oil = 0,950 - Source : <a href="http://www.chpcentermw.org">www.chpcentermw.org</a> Propane : PCI/PCS Propane = 0,920 - Source : <a href="http://www.chpcentermw.org">www.chpcentermw.org</a>					
De façon simplifiée, le PCI peut s'évaluer de la façon suivante : PCI = PCS – 5 % (produits pétroliers) PCI = PCS – 6 % à 7 % (biomasse)					

Source : CIDES inc. - SPSQ

### G.3.3 : Efficacité énergétique d'un système de génération de chaleur et performance énergétique de l'entreprise

L'efficacité énergétique d'un système de génération de chaleur est évaluée selon différentes normes (exemples : ANSI-ASHREA, CSA, ISO). Ce sont les exigences du pays qui va dicter au concepteur et au fabricant la norme à suivre. La norme choisie est liée principalement :

- à la source d'énergie utilisée;
- au type de fournaies ou de chaudières;
- à la puissance brute du système de génération de chaleur.

Aussi, d'autres normes peuvent être imposées aux fabricants. Ces normes vont couvrir par exemple, la sécurité d'utilisation des appareils, les émissions des gaz de combustion, etc.

Pour les systèmes de génération de chaleur au mazout et au gaz naturel, voici un extrait d'un article publié sur le site de « Ressources Naturelles Canada » concernant les normes et les règlements associés à leur performance énergétique minimale (avril 2013) :

<sup>96</sup> Certaines recherches se font présentement pour des appareils à condensation à biomasse.

<sup>97</sup> Pouvoir calorique supérieur (PCS). Autre terme utilisé en anglais HHV, GCV, HCV.

<sup>98</sup> Pouvoir calorique inférieur (PCI) = PCS moins chaleur latente de la vapeur d'eau dégagée lors de la combustion. Autre terme utilisé en anglais LHV, NCV, LCV.

*Au Canada, les chaudières au gaz et au mazout qui produisent moins de 300 000 BTU/h sont régies par la Loi sur l'efficacité énergétique. Aucune norme canadienne similaire n'existe pour les chaudières produisant plus de 300 000 BTU/h. Aux États-Unis, les chaudières dont la puissance calorifique est supérieure à 300 000 BTU/h doivent respecter des normes prescrites par la National Energy Policy Act. Selon cette loi, le rendement thermique en régime permanent des grosses chaudières à gaz doit être d'au moins 80 p. 100, tandis que celui des grosses chaudières au mazout doit être d'au moins 83 p. 100.*

Il existe d'autres normes et règlements pour les autres sources d'énergie comme le propane, l'électricité, la biomasse, etc.

Concernant les systèmes de génération de chaleur à biomasse conçus et vendus au Canada, ceux-ci n'ont pas les mêmes exigences que ceux conçus et vendus en Europe. Par exemple, la « Courbe d'efficacité énergétique selon l'appel de puissance » est rarement disponible au Canada (voir le **Graphique G. 3**). Pourtant, cette courbe est essentielle pour concevoir un système de chauffe à biomasse de façon optimale.

Il est important de noter que les normes existantes liées à l'efficacité énergétique ne tiennent pas compte des systèmes de distributions de chaleur et des méthodes utilisées pour opérer et gérer la chauffe.

Ainsi, les entreprises serrioles qui désirent implanter un nouveau système de chauffe devront tenir compte de l'efficacité globale du système de chauffe ( $E_{gc}$ ). Celle-ci intègre tous les éléments liés au système de chauffe. Dans la pratique, il y a peu d'entreprises qui peuvent estimer avant les travaux, l'efficacité globale du système de chauffe, car divers paramètres entrent en jeu.

L'efficacité globale du système de chauffe est le rapport entre la chaleur (énergie) émise dans la serre et l'énergie utilisée pour générer la chaleur pour une période donnée. L'énergie utilisée pour générer la chaleur est le produit du nombre d'unités du combustible utilisé par le pouvoir calorifique supérieur (PCS) de ce même combustible.

Voici un exemple :

Une serre ayant une superficie plancher de serre de 800 m<sup>2</sup> est opérée et chauffée du 1<sup>er</sup> mars au 31 mai inclusivement avec une consigne de chauffe de jour de 20 °C et de nuit à 18 °C. La serre utilise une bouilloire standard au gaz naturel ayant une efficacité saisonnière de 80 %<sup>99</sup>. Par l'installation d'appareils de mesures adéquates et d'un système de contrôle intégré, l'entreprise a été en mesure de quantifier la chaleur reçue par la serre à 320 000 MJ. Pendant cette période la consommation de gaz naturel a été de 12 305 m<sup>3</sup>. Ainsi, l'efficacité globale de la chauffe pour cette période est de :

$$E_{gc} \approx 69 \% \approx 320\,000 \text{ MJ} / (12\,305 \text{ m}^3 \times 37,89 \text{ MJ/m}^3) \times 100 = 320\,000 \text{ MJ} / 466\,237 \text{ MJ} \times 100$$

---

<sup>99</sup> Sur la base du PCS.

Pour l'entreprise serricole, il est important aussi d'évaluer la performance énergétique de l'entreprise. Celle-ci consiste à quantifier l'énergie utilisée pour répondre aux besoins de chauffe de l'entreprise en tenant compte :

- des périodes d'ouverture et de fermeture des serres qui sont chauffées;
- des superficies utilisées dans le temps;
- du régime climatique désiré dans le temps.

Ainsi, une entreprise serricole peut estimer un ratio d'efficacité énergétique de la serre ( $E_e$ ). Le ratio peut être exprimé de la façon suivante :

- $E_e = \text{kWh/m}^2 / \text{DJc}$ 
  - kWh = Énergie brute utilisée pour la chauffe exprimée en kWh;
  - $\text{m}^2$  = Superficie plancher de serre;
  - DJc = Degré-Jour de chauffe basé sur les consignes réelles de chauffe.

Plus le ratio est bas, plus la serre est efficace d'un point de vue énergétique. Ce ratio intègre :

- la performance des différents systèmes utilisés (exemples : système de génération de chaleur, système de distribution de chaleur, système de déshumidification et de ventilation) ou encore ayant un impact sur la chauffe (exemples : isolation de la serre, utilisation d'écrans thermiques);
- les stratégies d'opération de la serre et de la production.

D'un point de vue économique, une entreprise pourrait aussi évaluer la quantité d'énergie totale pour produire, par exemple, un pot fleuri ou encore un kilogramme de tomates ( $Q_{et}$ ). De ces différents ratios, des valeurs économiques peuvent être intégrées. Le lecteur peut s'inspirer aussi des fiches publiées par le Syndicat des producteurs en serre du Québec concernant « Évaluation économique d'un projet de chauffage à la biomasse » et les « Calculs des éléments économiques d'un projet de chauffage à la biomasse (fichier de travail) ». Même si elles sont conçues pour des projets de chauffe à la biomasse, celles-ci peuvent être adaptées et appliquées pour d'autres types de projets de chauffe.

Ainsi, une entreprise serricole peut tenir compte de ces différents ratios pour effectuer un suivi énergétique de l'entreprise dans le temps, mais aussi pour quantifier l'impact d'un nouveau système de chauffe d'un point de vue technico-économique. En fonction des résultats, l'entreprise serricole peut intervenir pour corriger des anomalies ou encore optimiser davantage les actions prises pour améliorer sa performance énergétique. Il est préférable d'intégrer une équipe multidisciplinaire à cette tâche. Ceci dans le but de faciliter l'analyse et l'interprétation des résultats. Des professionnels<sup>100</sup> d'expérience dans le domaine serricole peuvent aussi aider l'entreprise serricole à évaluer ces différents ratios, à les personnaliser et aider l'entreprise lors de l'analyse.

La section **B.02 Déterminer les opportunités d'économies d'énergie** présente des actions et leurs impacts possibles qu'une entreprise serricole peut prendre pour réduire la consommation d'énergie et améliorer ainsi sa performance énergétique. Ces actions auront aussi des impacts positifs au niveau de la production (exemples : quantité, qualité) et de l'environnement (exemple : réduction des gaz à effet

---

<sup>100</sup> Agronomes, ingénieurs.

Rapport sur l'utilisation des rejets thermiques industriels comme source de chauffage dans la production en serre au Québec (PCAA projet no 6728 - v.20140717)

de serre (GES)). L'entreprise serricole devra en tenir compte lorsqu'elle décidera d'implanter un nouveau système de chauffe, équipement ou encore procédé.

## ANNEXE H : Lexique anglais-français associé aux échangeurs de chaleur

Anglais	Français
<b>Building envelope</b>	Enveloppe du bâtiment
<b>Building shell</b>	Enveloppe du bâtiment
<b>Cleaning</b>	Nettoyage
<b>Cold side</b>	Côté du fluide froid d'un échangeur
<b>Conduction lost</b>	Perte par conduction
<b>Convective lost</b>	Perte par convection
<b>Energy source</b>	Source de production d'énergie
<b>Energy storage</b>	Emmagasinage ou accumulation d'énergie
<b>Flow</b>	Écoulement
<b>Flow rate</b>	Débit de l'écoulement
<b>Fouling</b>	Encrassement
<b>Fuel</b>	Carburant fossile
<b>Greenhouse (building)</b>	Serre
<b>Greenhouse (Gas)</b>	Gaz à effet de serre (ex. : CO <sub>2</sub> )
<b>Heat exchanger</b>	Échangeur de chaleur
<b>Heat exchanger : crossflow</b>	Échangeur à écoulements croisé
<b>Heat exchanger : parallelflow</b>	Échangeur à écoulements parallèle
<b>Heat exchanger : plate</b>	Échangeur à plaques
<b>Heat exchanger : Shell and tube</b>	Échangeur de chaleur à tubes et calandre
<b>Heat exchanger: counterflow</b>	Échangeur à contre-courant
<b>Heat exchanger : spiral</b>	Échangeur de chaleur à plaques en spirale
<b>Heat flux</b>	Taux d'échange de chaleur
<b>Heat load</b>	Charge de chauffage
<b>Heat transfer</b>	Transfert de chaleur
<b>Heat transfer coefficient</b>	Taux de transfert de chaleur
<b>Heat transfer rate</b>	Taux de transfert de chaleur
<b>Hot side</b>	Côté du fluide chaud d'un échangeur
<b>HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning)</b>	Chauffage, ventilation et climatisation
<b>Inspection</b>	Inspection
<b>Latent heat</b>	Chaleur d'échange latent (vaporisation ou évaporation)
<b>Maintenance</b>	Maintenance

Anglais	Français
<b>Mass flow rate</b>	Débit-masse
<b>Multiple pass</b>	Plusieurs passes d'échange
<b>Phase change</b>	Changement de phase
<b>Pipeline</b>	Conduite
<b>Radiant floor</b>	Plancher radiant
<b>Recuperator</b>	Récupérateur de chaleur
<b>Repair</b>	Réparation
<b>Shell and tube heat exchanger</b>	Échangeur de chaleur à tubes et calandre
<b>Specific heat</b>	Chaleur massique
<b>Specific heat temperature</b>	Chaleur massique
<b>Static pressure</b>	Pression statique
<b>Thermal effectiveness</b>	Efficacité thermique
<b>Viscosity</b>	Viscosité
<b>Waste heat</b>	Rejet thermique
<b>Waste heat recovery</b>	Récupération de rejet thermique

Source : Projet d'utilisation des rejets thermiques dans la production serricole (rapport d'expertise – Projet ESA033)

## Bibliographie

1. *Chauffer à moindre coût*. **De Halleux, Damien**. s.l. : CRAAQ, 2005.
2. **Organisation internationale de normalisation - Association canadienne de normalisation**. *CAN/CSA-ISO 50001:11 - Systèmes de management de l'énergie - Exigences et recommandations de mise en oeuvre*. Mississauga (Ontario) : Association canadienne de normalisation, 2011. ISO 50001:2011(F).
3. **Association Française de Normalisation (AFNOR)**. *NF EN 16247-1 - Audits énergétiques*. La Plaine Saint-Denis : Association Française de Normalisation (AFNOR), Septembre 2012. ISSN 0335-3931.
4. **Deru, Michael P. II. Kelsey, Jim, P.E. III. ASHRAE Technical Committee 7.6, Building Energy Performance**. *Procedures for Commercial Building Energy Audits*. Second. Atlanta, GA : ASHRAE, 2011. ISBN 978-1-936504-09-1.
5. **Canada, Ressources Naturelles**. *Le chauffage au mazout*. Ottawa : Sa Majesté la Reine du chef du Canada, Février 2012. ISBN 978-1-100-97935-9.
6. **INC., DUNSKY EXPERTISE EN ÉNERGIE**. *CHAUDIÈRES ET CHAUFFE-EAU AU MAZOUT ET AU PROPANE : ÉTUDE DES SURCÔÛTS ET DE LA CONSOMMATION DE RÉFÉRENCE DANS LES SECTEURS NON RÉSIDENTIELS*. Montréal : s.n., 13 octobre 2009. Révision 1.
7. **Ltd, Monenco Consultants**. *Gestion des huiles usées au Canada : situation actuelle et différentes options*. n.d. : Le Conseil canadien des ministres de l'environnement, Août 1989. CCME-TS/WM-TRE007; ISBN 0-662-95614-1.
8. *Carbon Dioxide In Greenhouse*. **(OMAFRA), Ministère de l'agriculture et de l'alimentation de l'Ontario**. s.l. : OMAFRA, 2002/12. Agdex # 290/27.
9. **Pierre Hollmuller, Bernard Lachal, Pierre Jaboyedoff, Antoine Reist, Javier Gil, Luc Danloy**. *GEOSER - Stockage solaire à court terme en serres horticoles*. Genève, SUISSE : Centre universitaire d'étude des problèmes de l'énergie (CUEPE), 2002. p. 91. Rapports de recherche du CUEPE n° 2.
10. *Stockage d'énergie dans les serres*. **Université de Sherbrooke, Département de génie mécanique**. s.l. : Université de Sherbrooke, Département de génie mécanique, 1994-1996 (réalisation).
11. **KUPPAN, T.** *Heat exchanger design handbook*. New-York : Marcel Dekker inc., 2000. Chapitre 1, pp. 25-26. ISBN: 0-8247-9787-6.
12. **Syndicat des producteurs en Serre du Québec**. *Les paramètres techniques de l'implantation d'un système de chauffage à la biomasse*. Longueuil : Syndicat des producteurs en Serre du Québec, 2012. Vol. 2; No. 3 de 4.
13. **Québec, Régie du bâtiment du**. *Guide du participant - Présentation sur le règlement modifiant le Code de construction pour favoriser l'efficacité énergétique -*

*Partie 11 « Efficacité énergétique » du chapitre Bâtiment du Code de construction du Québec.* 12 septembre 2012.

14. **inc., Syndicat des Producteurs en Serre du Québec (SPSQ) - CIDÉS.** *Fiche d'information #3 - Système de contrôle en serre.* Longueuil : Syndicat des producteurs en Serre du Québec, 2007; Mise à jour : 2011. Vol. 1, No. 3.
15. **BARTOK Jr., John W. et al.** *Energy Conservation for Commercial greenhouses. Energy conservation for commercial greenhouses.* Ithaca (New York) : NRAES, 2001. ISBN 0-935817-74-3. NRAES-3, Revised October 2001.
16. **BOUDREAU, Jean-Marc.** *L'isolation des serres, un moment de réflexion.* 2006.
17. *Les Fermes Lufa.* [En ligne] 2013. [www.lufa.com](http://www.lufa.com).
18. *Urban greenhouses.* [En ligne] <http://smartarchi.weebly.com>.
19. **Lambert, Garry.** Programme pilote ISO 50001 - Des entreprises américaines appliquent la norme avec l'appui du gouvernement. [www.iso.org](http://www.iso.org). 17 mai 2011.
20. **Courtois Énergies Conseil.** Glossaire. *Courtois Énergies Conseil.* [En ligne] Courtois Énergies Conseil, 2010. [Citation : 9 Mai 2013.] [www.courtoisenergies.fr](http://www.courtoisenergies.fr).
21. **Kelsey, Jim, PE and Dick Pearson, PE.** Updated procedures for commercial building energy audits. *ASHRAE Transaction.* 2011, Vol. 116, Part 2, pp. 374-381.
22. **Shapiro, Ian, PE.** 10 common problems in energy audits. [éd.] ASHRAE. *ASHRAE Journal.* February 2011, pp. 26-32.
23. **BOUDREAU, Jean-Marc.** *La serre - Notes de cours pour les élèves de l'ITA de Saint-Hyacinthe.* 2006.

### **3. 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 d'analyser quatre cas d'utilisation de rejets thermiques dans des entreprises serricoles au Québec. Ces quatre cas permettent de constater que ce type de projet demande beaucoup de préparation et ils sont tous des cas uniques. Ainsi, il est difficile pour une entreprise serricole de calquer leur approche pour réaliser un tel projet.

Autre élément, l'entreprise serricole aura surtout accès à des rejets thermiques de basses températures, c'est-à-dire inférieures à 100 °C. Ce qui prolonge évidemment le retour sur l'investissement par rapport à une source de chaleur plus élevée pour un même débit. De plus, les systèmes mécaniques devront être conçus en conséquence (exemples : échangeur de chaleur, connexion, contrôle).

La préparation à un tel projet est liée à l'identification des besoins énergétiques de la serre et de sa dynamique énergétique sur une base journalière et annuelle. Par le fait même, il est important de caractériser les rejets thermiques en fonction des périodes d'opération de la serre et de tenir compte des effets économiques sur l'entreprise serricole si le rejet thermique n'était plus disponible pour diverses raisons.

En ayant ces informations, il est plus facile pour l'entreprise serricole de valider le potentiel économique et technique, et de discuter avec les spécialistes liés à la conception de tels systèmes pour permettre l'utilisation des rejets thermiques de façon efficiente. Aussi, il sera plus facile de développer les clauses contractuelles qui satisferont l'entreprise qui fournirait la source d'énergie et l'entreprise serricole qui l'utiliserait.

Si les grandes entreprises serricoles ont plus de facilité à obtenir les ressources nécessaires pour réaliser ce type de projet, ceci est moins évident pour les petites entreprises. Les ressources peuvent être de nature financière, technique et humaine.

À moyen terme et grâce à la réalisation de ce projet et de la démarche qui a été élaborée, les entreprises serricoles seront mieux outillées à analyser ce type de projet en :

- intégrant tous les aspects de l'entreprise (aspects : humains, agronomiques, ingénieries, financiers et légaux)
- tenant compte du plan d'affaires présent et futur de celle-ci.

Cette démarche permettra à l'entreprise sericole de/d' :

- Identifier ses besoins et certains paramètres techniques;
- Valider l'action en tenant compte du contexte d'opération;
- Valider l'action au niveau technico-économique;
- Prioriser ses actions.

De plus, le SPSQ souhaite réaliser une vitrine technologique quant à l'utilisation des rejets thermiques dans la production en serre. Il est envisagé qu'une demande d'aide financière soit soumise au sous-volet 8.4 du programme Prime-Vert pour la réalisation de ce projet. Le SPSQ souhaite que la réalisation d'une telle étude permette aux producteurs en serre de vaincre l'incertitude technique et économique lié à un tel type d'approvisionnement en énergie.

À long terme, ce projet permettra au secteur sericole de réaliser avec succès des projets utilisant les rejets thermiques tout en préservant la viabilité et la pérennité de l'entreprise sericole. Au niveau du nombre de projets liés à l'utilisation des rejets thermiques qui pourrait être réalisé jusqu'à la toute fin, il est difficile à ce moment si d'en évaluer le nombre, car ces projets demeurent du cas par cas.

#### Inscrire les recommandations découlant des résultats.

Pour réaliser une étude technico-économique sur l'utilisation des rejets thermiques, l'entreprise sericole doit connaître et maîtriser divers paramètres technico-économiques liés au domaine sericole, énergétique et d'ingénierie.

La maîtrise de ces paramètres facilitera les discussions entre les parties et ainsi présenter leurs : attentes, préoccupations et limites; pour ensuite développer des actions communes et harmonisées pour réaliser à la satisfaction de tous un projet associé à l'utilisation des rejets thermiques.

Il sera important que l'entreprise sericole soit bien accompagnée pour qu'elle soit en mesure de réaliser la démarche présentée dans ce rapport. Cet accompagnement peut être fait par une équipe multidisciplinaire composée d'agronomes, d'ingénieurs et de conseillers financiers. Ces gens ou encore ces firmes qui accompagneront l'entreprise sericole devront avoir des expériences variées pour justement combler leurs manques de connaissance et aussi briser leur isolement. En effet, les petites entreprises sericoles n'ont pas toujours accès aux mêmes ressources que les plus grandes entreprises sericoles.

Finalement, les aides que l'entreprise serricole pourra recevoir devront être développées pour combler d'une part leur manque de connaissances et d'expertises, et d'autre part pour diminuer leur période de rentabilité à environ trois ans.

Est-ce qu'il y a des suites possibles au projet?

Afin de continuer à explorer l'utilisation des rejets thermiques, il faudra réaliser, un projet qui appliquerait la démarche présentée le rapport. Il serait pertinent de le faire pour de petites entreprises et de grandes entreprises. Si le potentiel des rejets thermiques existe, il serait intéressant de voir les entreprises industrielles qui seraient prêtes à offrir leurs rejets et d'effectuer une analyse de préfaisabilité en tenant compte des spécificités du domaine serricole. Pour réaliser ces cas ou ces études, il faudra obtenir un support financier pour démontrer à l'entreprise serricole le vrai potentiel d'un tel projet pour son entreprise.

## **4. SOMMAIRE DES ACCOMPLISSEMENTS DU PROJET**

### En quoi ce projet est-il important?

Le projet est très important pour le secteur serricole québécois puisque dans la production en serre, les coûts énergétiques s'avèrent élevés. Ils représentent entre 15 % et 30 % de l'ensemble des coûts de production, ce qui constitue l'un des postes les plus importants de dépenses. Ainsi, la baisse des coûts de la facture énergétique pour un producteur en serre contribue très certainement à améliorer sa compétitivité et, par le fait même, à assurer sa prospérité.

De plus, plusieurs entreprises serricoles utilisent entre autres, le mazout comme source d'énergie pour le chauffage de leurs serres. Seulement au Québec, plus 10,6 millions de dollars ont été dépensés en 2011 pour l'achat de mazout (Cat. 22-202 XIB). L'utilisation d'énergie découlant des produits pétroliers comme source de chauffage contribue grandement à la production de gaz à effet de serre. Avec l'apport possible des rejets thermiques à la chauffe, celui-ci contribuerait à diminuer l'utilisation de combustibles fossiles et par le fait même réduire les gaz à effet de serre (GES).

Ainsi, l'utilisation de rejets thermiques pourrait constituer une solution de choix puisque les rejets thermiques non valorisés générés de façon significative par certaines entreprises constituent des gisements énergétiques à faible coût et sans génération supplémentaire de gaz à effet de serre. L'analyse de l'activité industrielle au Québec montre qu'il existe des alumineries et des papetières en plus de nombreux autres types d'entreprises générant des rejets thermiques. Toutefois, en matière d'utilisation des rejets thermiques, le Québec accuse un très grand retard. Ainsi, pour un producteur en serre qui déciderait de se lancer dans un tel projet, il existe un réel risque financier et technique vu le niveau de connaissance du sujet.

### 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 rejets thermiques dans un contexte de production serricole et d'identifier les préalables et les paramètres technico-économiques pour réaliser avec succès l'utilisation de rejets thermiques pour la chauffe de serres.

### Quelles activités ont été réalisées?

La première activité du projet a consisté à caractériser les besoins énergétiques d'une serre. Pour se faire, l'activité a permis d'identifier : le nombre d'entreprises serricoles et leur consommations d'énergie selon la superficie et le type d'énergie utilisé pour la chauffe, les

infrastructures et les systèmes de chauffe utilisés dans l'industrie serricole au Québec (note : le système de chauffe comprend principalement le système de génération de chaleur, le système de distribution de chaleur et le système de contrôle) et les actions liées au management de l'énergie ou encore de nature technique pour réduire les consommations d'énergie et les impacts au niveau environnemental (exemple : GES).

La deuxième activité a permis de dresser un portrait de la situation de l'utilisation des rejets thermiques. Il y a eu quatre cas (Serres Francis Lemaire, Serres Demers, Serres Sagami, Serres Jardins Nature). De ces quatre cas, trois sont toujours en activité. Pour le quatrième cas (Serres Jardins Nature), les rejets thermiques ne sont plus disponibles (fermeture d'usine), mais l'entreprise serricole est toujours en activité.

La troisième activité a permis déterminer et définir les aspects techniques, économiques et environnementaux à considérer pour l'utilisation des rejets thermiques dans la production en serre. Pour se faire, des experts du milieu serricole et ceux liés à la conception de système mécanique permettant l'utilisation des rejets thermiques ont été consultés (M. Gabriel Gagné-Marcotte, B.ing. – ESA : rejets thermiques et échangeurs de chaleur; M. Marco Girouard, ing. – CIDÉS : aspects énergétiques en serre - audit, chauffe, identification des besoins, management; M. Jean-Marie Niget, agr. – Innovagro Consultants : l'état de la situation; M. Daniel Rousse, ing, Ph.D. – T3E : rejets thermiques et échangeurs de chaleur).

Finalement, il était prévu dans la quatrième activité de valider les aspects techniques, économiques et environnementaux préalablement déterminés par l'analyse d'un cas réalisé chez un producteur. Toutefois, les différentes analyses des différents sites au Québec ont démontré que chaque projet qui implique l'utilisation des rejets thermiques est unique soi. La sélection d'une entreprise serricole pour faire le suivi n'a pas été retenue. Toutefois, pour être en mesure de répondre entièrement au dernier objectif spécifique, l'équipe de réalisation, avec l'accord du comité, à développer une démarche qui permettra à une entreprise serricole de réaliser avec succès d'un point de vue technico-économique un projet visant l'utilisation des rejets thermiques dans le domaine serricole.

### Pourquoi le projet et ses résultats sont-ils importants pour le groupe cible et/ou les intervenants?

Les rejets thermiques sont une source d'énergie qui peut être accessible à toute entreprise serricole. Comme le coût énergétique de la chauffe représente 15 % à 30 % des coûts de production, les résultats de ce projet permettent à l'industrie serricole d'avoir une alternative aux sources d'énergie conventionnelle, mais aussi d'avoir en leur possession un outil pour leur aider à structurer leur démarche dans la réalisation d'un projet d'utilisation des rejets thermiques.

### Qu'a-t-on appris?

Un projet qui utilise les rejets thermiques est un projet en soi. Ainsi, la façon de réaliser le projet sera différente d'un site à l'autre, car les besoins d'une entreprise serricole et les caractéristiques des rejets thermiques sont différents d'un projet à l'autre.

Aussi, ce sont surtout les rejets thermiques dits de basses températures (température inférieure à 100 °C) qui seront accessibles aux entreprises serricoles. Ce type de rejets thermiques prolonge le retour du capital investi par rapport à un rejet thermique où les températures seraient plus élevées pour un même débit.

Finalement, la réalisation d'un tel projet demande beaucoup de préparation, de ressources (financière, humaine, technique). Or comme les petites entreprises ont peu de ressources par rapport aux plus grandes entreprises, ce sont surtout les grandes entreprises pourront dans un premier temps réaliser ce type de projet.

### Quelles sont les prochaines étapes?

- Réalisation d'étude de cas dans de petites et grandes entreprises
- OU
- Réalisation d'études de préfaisabilité

Afin de continuer à explorer l'utilisation des rejets thermiques, il serait intéressant de voir les entreprises industrielles qui seraient prêtes à offrir leurs rejets thermiques et ainsi effectuer des études de préfaisabilité en tenant compte des spécificités du domaine serricole et de la démarche présentée dans ce projet. Par la suite et selon les résultats de l'étude de préfaisabilité, il serait souhaitable de créer une vitrine technologique dans une petite entreprise. Pour réaliser ces études et cette vitrine technologique, le support financier via les programmes existants ou encore de nouveau sera essentiel pour démontrer le plein potentiel des rejets thermiques dans un contexte de production serricole.