



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département de l'intérieur et de la mobilité
Direction générale de l'agriculture



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE
Département de la sécurité,
De la police et de l'environnement
Service de l'énergie



UNION MARAÎCHERE DE GENEVE



SERVICES INDUSTRIELS DE GENEVE

CET 2011-20

M. 7. 2011

SERVICE DE L'ENERGIE
Rue du Puits-Saint-Pierre 4
Case postale 3920
1211 Genève 3

ETUDE ENERGIE DES "ZONES AGRICOLES SPECIALES"

Rapport final

Version 1.0
30 janvier 2011
GE1165./C42

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

CSD Ingénieurs SA
Avenue Industrielle 12
1227 Carouge
Tél. 022 / 308 89 00
Fax 022 / 308 89 11
E-mail geneve@csd.ch
Internet www.csd.ch



Weinmann-Energies SA

Weinmann-Energies SA
Rte d'Yverdon 4
1040 Echallens
Tél. 021 / 886 20 20
Fax 021 / 886 20 30
info@weinmann-energies.ch
www.weinmann-energies.ch



TABLE DES MATIERES

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCTION | 1 |
| 1.1 Contexte | 1 |
| 1.2 Objectifs de l'étude | 1 |
| 2. DONNEES DE BASE RELATIFS AUX PERIMETRES CONSIDERES | 3 |
| 2.1 Périmètres considérés | 3 |
| 2.1.1 <i>Plaine de l'Aire</i> | 5 |
| 2.1.2 <i>Veyrier - Troinex</i> | 6 |
| 2.1.3 <i>Bardonnex – Plan les Ouates</i> | 8 |
| 2.2 Horizons | 8 |
| 2.3 Données de surfaces de serres et tunnels | 9 |
| 2.3.1 <i>Près-de-Genève</i> | 9 |
| 2.3.2 <i>Plaine de l'Aire (rive droite)</i> | 10 |
| 2.3.3 <i>Veyrier - Troinex</i> | 11 |
| 2.3.4 <i>Bardonnex – Plan-Les-Ouates</i> | 12 |
| 3. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES | 13 |
| 3.1 Consommation d'énergie: hypothèses de calcul | 13 |
| 3.1.1 <i>Etat actuel</i> | 13 |
| 3.1.2 <i>Situation future à court terme</i> | 14 |
| 3.2 Puissance thermique: hypothèses de calcul | 15 |
| 3.2.1 <i>Méthode 15</i> | 15 |
| 3.2.2 <i>Influence des Open Buffers sur la demande en puissance thermique</i> | 16 |
| 3.2.3 <i>Puissance demandée maximale</i> | 17 |
| 3.3 Hypothèses des scénarios d'évolution | 18 |
| 3.3.1 <i>Evolutions techniques</i> | 18 |
| 3.3.2 <i>Changements de culture</i> | 20 |
| 3.3.3 <i>Renouvellement des serres existantes</i> | 21 |
| 3.3.4 <i>Quantification de l'économie d'énergie liée au renouvellement des serres à moyen et long terme</i> | 22 |
| 3.4 Calculs des profils de demande d'énergie et puissance | 22 |
| 3.4.1 <i>Présentation des résultats du calcul</i> | 22 |
| 3.4.2 <i>Croquis de la serre de référence</i> | 23 |
| 3.4.3 <i>ZAS Près-Genève</i> | 24 |
| 3.4.4 <i>ZAS Plaine de l'Aire</i> | 27 |
| 3.4.5 <i>ZAS Veyrier – Troinex</i> | 31 |
| 3.4.6 <i>ZAS Bardonnex-Plan-les-Ouates</i> | 34 |
| 3.4.7 <i>Fluctuations journalières de puissance</i> | 38 |



| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.5 | Synthèse des besoins en énergie..... | 40 |
| 4. | EVALUATION DE L'OFFRE EN ENERGIES DISPONIBLES..... | 43 |
| 4.1 | Géothermie..... | 43 |
| 4.1.1 | <i>Champs de sondes verticales (SGV).....</i> | <i>43</i> |
| 4.1.2 | <i>Exploitation de nappes phréatiques.....</i> | <i>43</i> |
| 4.1.3 | <i>Géothermie grande profondeur.....</i> | <i>44</i> |
| 4.2 | Bois | 44 |
| 4.3 | Paille | 45 |
| 4.4 | Méthanisation de la biomasse..... | 45 |
| 4.4.1 | <i>Déchets agricoles organiques.....</i> | <i>45</i> |
| 4.4.2 | <i>Déchets ménagers organiques.....</i> | <i>46</i> |
| 4.5 | UIOM Cheneviers - CADIOM..... | 47 |
| 4.5.1 | <i>Situation actuelle.....</i> | <i>47</i> |
| 4.5.2 | <i>Augmentation de la puissance du CAD.....</i> | <i>48</i> |
| 4.5.3 | <i>Potentiel CADIOM.....</i> | <i>48</i> |
| 4.5.4 | <i>Valorisation de l'énergie basse température produite par le site des Cheneviers.....</i> | <i>49</i> |
| 4.6 | Rejets de chaleur..... | 49 |
| 4.6.1 | <i>Rejets de chaleur industrielle.....</i> | <i>49</i> |
| 4.7 | Valorisation de la chaleur de la STEP d'Aire..... | 51 |
| 4.8 | Valorisation de la chaleur du réseau de collecteurs eaux usées..... | 51 |
| 4.8.1 | <i>Principe de fonctionnement.....</i> | <i>51</i> |
| 4.8.2 | <i>Potentiel pour les ZAS.....</i> | <i>51</i> |
| 4.9 | Approvisionnement en gaz..... | 52 |
| 4.10 | Synthèse des options..... | 53 |
| 5. | CARACTERISATION DES VARIANTES..... | 54 |
| 5.1 | Variantes pour les ZAS Plaine de l'Aire et Prés-de-Genève..... | 54 |
| 5.1.1 | <i>Raccordement au réseau CADIOM.....</i> | <i>54</i> |
| 5.1.1.1 | <i>description generale.....</i> | <i>54</i> |
| 5.1.1.2 | <i>Justification.....</i> | <i>55</i> |
| 5.1.1.3 | <i>Installations a prévoir à l'intérieur des périmètres des ZAS.....</i> | <i>55</i> |
| 5.1.1.4 | <i>Equipements des maraîchers.....</i> | <i>57</i> |
| 5.1.1.5 | <i>Coûts d'investissement et d'exploitation.....</i> | <i>57</i> |
| 5.1.1.6 | <i>Synthèse et evaluation de la variante.....</i> | <i>58</i> |
| 5.1.1.7 | <i>Variante STEP d'Aire.....</i> | <i>59</i> |
| 5.1.1.8 | <i>Description générale.....</i> | <i>59</i> |
| 5.1.1.9 | <i>Besoins en energie Basse et haute température.....</i> | <i>61</i> |
| 5.1.1.10 | <i>EQUIPEMENTS A PREVOIR en dehors du périmètre des ZAS.....</i> | <i>61</i> |
| 5.1.1.11 | <i>Installations dans le périmètre des ZAS.....</i> | <i>62</i> |
| 5.1.1.12 | <i>Equipements des maraîchers.....</i> | <i>62</i> |
| 5.1.2 | <i>Coûts d'investissement et d'exploitation.....</i> | <i>63</i> |
| 5.1.3 | <i>Synthèse et évaluation de la variante.....</i> | <i>64</i> |
| 5.2 | ZAS Veyrier-Troinex..... | 65 |
| 5.2.1 | <i>Variante centrale à bois et gaz.....</i> | <i>65</i> |



Weinmann-Energies SA

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 5.2.1.1 | Description générale..... | 65 |
| 5.2.1.2 | Situation initiale..... | 65 |
| 5.2.1.3 | Descriptif du projet..... | 67 |
| 5.2.1.4 | Coûts d'investissement et d'exploitation..... | 71 |
| 6. | CONCLUSIONS..... | 73 |



LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Carte générale | 4 |
| Figure 2 : Carte de situation de la Plaine de l'Aire & Près-de-Genève | 5 |
| Figure 3 : Carte de situation Veyrier - Troinex | 7 |
| Figure 4 : Carte de situation Bardonnex – Plan les Ouates | 8 |
| Figure 5: Profils de puissances moyennes..... | 16 |
| Figure 6: Energie thermique consommée par mois, à court terme..... | 24 |
| Figure 7: Puissance thermique classée par mois, à court terme..... | 25 |
| Figure 8: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme..... | 25 |
| Figure 9: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme..... | 26 |
| Figure 10: Energie thermique consommée par mois, à long terme..... | 26 |
| Figure 11: Puissance thermique classée par mois, à long terme..... | 27 |
| Figure 12: Energie thermique consommée par mois, à court terme..... | 28 |
| Figure 13: Puissance thermique classée par mois, à court terme..... | 28 |
| Figure 14: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme..... | 29 |
| Figure 15: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme..... | 29 |
| Figure 16: Energie thermique consommée par mois, à long terme..... | 30 |
| Figure 17: Puissance thermique classée par mois, à long terme..... | 30 |
| Figure 18: Energie thermique consommée par mois, à court terme..... | 31 |
| Figure 19: Puissance thermique classée par mois, à court terme..... | 32 |
| Figure 20: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme..... | 32 |
| Figure 21: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme..... | 33 |
| Figure 22: Energie thermique consommée par mois, à long terme..... | 33 |
| Figure 23: Puissance thermique classée par mois, à long terme..... | 34 |
| Figure 24: Energie thermique consommée par mois, à court terme..... | 35 |
| Figure 25: Puissance thermique classée par mois, à court terme..... | 35 |
| Figure 26: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme..... | 36 |
| Figure 27: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme..... | 36 |
| Figure 28: Energie thermique consommée par mois, à long terme..... | 37 |
| Figure 29: Puissance thermique classée par mois, à long terme..... | 37 |
| Figure 30 : Fluctuations journalières de puissance en hiver | 38 |
| Figure 31: Fluctuations journalières de puissance au printemps..... | 38 |
| Figure 32: Fluctuations journalières de puissance en été..... | 39 |
| Figure 33: Fluctuations journalières de puissance en automne..... | 39 |
| Figure 34: Puissance demandée en fonction de la température extérieure (année 2006)..... | 47 |
| Figure 35: Puissance disponibles et consommée pour les ZAS, ainsi que pour les réseaux CADIOM et Lignon..... | 48 |



Weinmann-Energies SA

| | |
|--|----|
| Figure 36 : Situation générale – ZAS Prés-de-Genève et Plaine de l’Aire – Variante CADIOM..... | 56 |
| Figure 37 : Situation générale Variante STEP d’Aïre – Prés-de-Genève et Plaine de l’Aire..... | 60 |
| Figure 38 : Situation générale – Concept d’approvisionnement Veyrier - Troinex | 66 |
| Figure 39: Schéma de principe pour variante Veyrier-Troinex..... | 68 |



LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau 1: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Prés-de-Genève..... | 9 |
| Tableau 2: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Plaine-de-l'Aire..... | 10 |
| Tableau 3: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Veyrier-Troinex..... | 11 |
| Tableau 4: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Bardonnex - Plan-Les-Ouates..... | 12 |
| Tableau 5: Puissance demandée maximale..... | 18 |
| Tableau 6: Hypothèse d'évolution du pourcentage de surface de serres équipée d'une cuve de stockage [%]..... | 19 |
| Tableau 7: Potentiel d'économie d'énergie..... | 19 |
| Tableau 8: Influence du changement de culture..... | 20 |
| Tableau 9: Part de renouvellement du parc des serres existant (inclus les projets à réaliser d'ici 5 ans) pour le moyen et long terme..... | 21 |
| Tableau 10: Valeur d'économie d'énergie pour le renouvellement des serres à moyen et long terme..... | 22 |
| Tableau 11: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Prés-Genève (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés)..... | 24 |
| Tableau 12: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Plaine de l'Aire (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés)..... | 27 |
| Tableau 13: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Veyrier-Troinex (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés)..... | 31 |
| Tableau 14: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Bardonnex-Plan-les-Ouates (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés)..... | 34 |
| Tableau 15: Synthèse des besoins en énergie..... | 40 |
| Tableau 16: Gisements bruts et mobilisables pour les déchets agricoles. La paille est traitée au chapitre précédent..... | 46 |
| Tableau 17: Récapitulatif des variantes étudiées pour l'approvisionnement des ZAS..... | 53 |
| Tableau 18: Puissances thermiques nécessaires pour la variante CADIOM..... | 55 |
| Tableau 19 : Investissements pour la variante CADIOM..... | 58 |
| Tableau 20: Liste des investissements pour la variante STEP d'Aire..... | 63 |
| Tableau 21: Coûts d'exploitation et prix de l'énergie pour la variante STEP d'Aire..... | 64 |
| Tableau 22: Surfaces, énergies et puissances caractéristiques..... | 67 |
| Tableau 23: Investissements pour le projet de centrale à bois..... | 71 |
| Tableau 24: Coûts d'exploitation et prix de l'énergie pour pour le projet de centrale à bois / gaz de Veyrier - Troinex..... | 72 |



Weinmann-Energies SA

CSDINGENIEURS+
INGÉNIEUX PAR NATURE

Préambule

CSD confirme par la présente avoir exécuté son mandat avec la diligence requise. Les résultats et conclusions sont basés sur l'état actuel des connaissances tel qu'exposé dans le rapport et ont été obtenus conformément aux règles reconnues de la branche.

CSD se fonde sur les prémisses que :

- le mandant ou les tiers désignés par lui ont fourni des informations et des documents exacts et complets en vue de l'exécution du mandat,
- les résultats de son travail ne seront pas utilisés de manière partielle,
- sans avoir été réexaminés, les résultats de son travail ne seront pas utilisés pour un but autre que celui convenu ou pour un autre objet ni transposés à des circonstances modifiées.

Dans la mesure où ces conditions ne sont pas remplies, CSD décline toute responsabilité envers le mandant pour les dommages qui pourraient en résulter.

Si un tiers utilise les résultats du travail ou s'il fonde des décisions sur ceux-ci, CSD décline toute responsabilité pour les dommages directs et indirects qui pourraient en résulter.



1. INTRODUCTION

1.1 Contexte

La production maraîchère du canton de Genève s'élève à environ 20'000 tonnes de légumes qui sont produits sur 36 hectares de serres verres et plastiques, 22 hectares de tunnels plastiques et plus ou moins 250 hectares de pleins champs.

Le canton de Genève a opté pour une planification positive de ces zones de production sous-abris. Trois zones agricoles spéciales (ZAS) principales ont été identifiées dans le plan directeur cantonal : "Plaine de l'Aire/Prés de Genève", "Veyrier/Troinex" et "Bardonnex/Plan-les-Ouates". Cette planification aura pour effet une concentration des serres dans ces différents périmètres.

Toutefois, la production maraîchère sous-abri consomme actuellement d'importantes quantités d'énergie fossile, avec des conséquences non négligeable du point de vue environnemental et économique. En effet, avec environ 200 à 500 kWh/m² par an, la consommation spécifique d'énergie des serres est environ 10 fois supérieure à celle de l'habitat en considérant les standards performants actuels. Les serristes sont particulièrement sensibles au problème de l'énergie puisqu'il constitue le deuxième poste de dépense de leurs exploitations, correspondant à plus de 30% de leur coût de production global. La forte dépendance envers les énergies fossiles pèse lourd dans le bilan économique de l'activité maraîchère et toute augmentation du prix des énergies fossiles constitue un risque important pour cette dernière. La superficie des serres existantes et les projets d'extension des serres, font de l'activité maraîchère un élément important dans la politique énergétique du canton

Plusieurs démarches individuelles par les maraîchers ont déjà été entreprises ou sont actuellement en cours afin d'augmenter l'efficacité énergétique des serres et le recours aux énergies renouvelables. Il y a notamment des projets de couplage chaleur force au gaz naturel et un projet de renouvellement d'une chaudière à bois à Veyrier-Troinex.

A une échelle plus générale, l'objectif est de trouver une stratégie pour un approvisionnement énergétique sûr, économique et durable pour les serres existantes et les réalisations futures afin d'assurer la pérennité de cette activité dans le canton.

Cette stratégie d'approvisionnement doit s'inscrire dans une stratégie à plus large échelle, augmentant l'efficacité globale et le recours aux énergies renouvelables d'un périmètre élargi.

1.2 Objectifs de l'étude

Dans ce contexte, la Direction générale de l'agriculture et le Service de l'énergie du Canton, SIG et l'UMG (Union maraîchère de Genève) se sont associés afin de mener une étude énergétique globale relative aux zones agricoles spéciales (ZAS) sur la base d'un cahier des charges établi en mars 2010.

Sur cette base, les bureaux CSD Ingénieurs SA et Weinmann-Energies SA ont été retenus pour mener à bien cette étude qui s'est déroulée d'avril à décembre 2010.

L'étude a été accompagnée par un groupe de suivi composé de représentants de la Direction générale de l'agriculture, du Service de l'énergie, de SIG, de l'UMG, du Projet d'agglomération franco-valdo-genevois, de la Fondation pour les ZAS et d'AgriDéa.



Weinmann-Energies SA

L'objectif central est de proposer des stratégies de court, moyen et long termes pour un approvisionnement énergétique sûr, économique et durable des trois zones agricoles spéciales "Plaine de l'Aire/Prés de Genève", "Veyrier/Troinex" et "Bardonnex/Plan-les-Ouates". La stratégie de court terme doit être compatible et au bénéfice de la stratégie de moyen et long terme et s'inscrire dans une stratégie à plus large échelle permettant d'augmenter l'efficacité globale et le recours aux énergies renouvelables dans un périmètre élargi.

L'étude s'est déroulée en deux étapes:

Phase 1 : étude technique

- Évaluation de l'offre en énergies disponibles dans les ZAS et dans un périmètre élargi en tenant compte des études existantes ;
- Évaluation et quantification des besoins énergétiques des maraîchers (état actuel et évolution future), en tenant compte des études existantes ;
- Identification des interactions énergétiques envisageables et/ou nécessaires avec les zones limitrophes aux ZAS, actuelles et futures ;
- Proposition de solutions énergétiques pour chacun des périmètres de ZAS permettant de répondre à des besoins immédiats pour les structures actuelles et les projets en cours compatibles avec les stratégies énergétiques sur le moyen et le long terme.

Phase 2 : Evaluation des variantes

- Évaluer les variantes selon les critères suivants :
 - o Besoins en infrastructures énergétiques, notamment pour le transport, le stockage et la transformation ;
 - o Critères économique (coûts d'investissement, coûts d'exploitation, subvention, stabilité du prix, etc.) ;
 - o Critères environnementaux: qualité du gisement (renouvelable/récupération/fossile), incidences sur l'environnement, etc. ;
 - o Social ;
 - o Valeur ajoutée pour les maraîchers (en comparaison avec une hypothèse "tout énergie fossile") ;
- Pour chacune des variantes, description des différentes installations, des localisations et des principes d'organisation et de mise en œuvre
- Recommandation quand au choix d'une variante pour chaque périmètre.

En complément à l'étude initiale, une approche plus précise a été établie pour le périmètre Veyrier Troinex dans le cadre de l'élaboration d'un concept de centrale biomasse avec appoint au gaz et mise en réseau de 3 exploitants. Les éléments suivants ont notamment été effectués dans le cadre de cette approche complémentaire :

- Collecte des données de base supplémentaires:
 - o Collecte des données complémentaires relatives aux caractéristiques, contraintes et objectifs des exploitations concernées, pour l'état actuel et future planifié, précision des données relatives aux consommations en énergie thermique et en besoin en CO₂, et définition des bases de dimensionnement ;
 - o Etude des différentes options de production d'énergie envisageables (cogénération) à partir de la biomasse (gazéification; cycle ORC)



Weinmann-Energies SA

- Elaboration des variantes et du concept:
 - o Elaboration des variantes et définition du concept optimal compte tenu de l'ensemble des paramètres; pré-dimensionnement et estimation des consommations et productions
 - o Etablissement des calculs économiques: estimation des investissements, des coûts d'exploitation et des possibilités de subventionnement
- Rédaction de documents complémentaires selon exigences du Projet régional maraîcher (PRM)

2. DONNEES DE BASE RELATIFS AUX PERIMETRES CONSIDERES

2.1 Périmètres considérés

Les différents périmètres de zones agricoles spéciales (ZAS) à considérer, sont représentés sur la carte ci-dessous.

Les périmètres de la Plaine de l'Aire, qui peut être réparti en 2 sous périmètres : Prés de Genève et Plaine de l'aire (rive droite), et de Veyrier Troinex constituent de loin les 2 périmètres de ZAS les plus importants définis par le plan directeur cantonal dans lesquels se concentre le potentiel de développement des cultures sous abris pour les décennies à venir. Le périmètre de Bardonnex – Plan-Les-Ouates présente une implantation plus diffuse avec un potentiel de développement relativement limité.

La carte ci-dessous présente également les périmètres de développement de l'urbanisation prévus dans le secteur selon le Projet d'agglomération franco-valdo-genevois ainsi que les contraintes relatives à la réalisation de sondes géothermiques et l'implantation de réseaux importants (CADIOM ; gazoduc haute pression ; réseau primaire d'eaux usées).



Weinmann-Energies SA

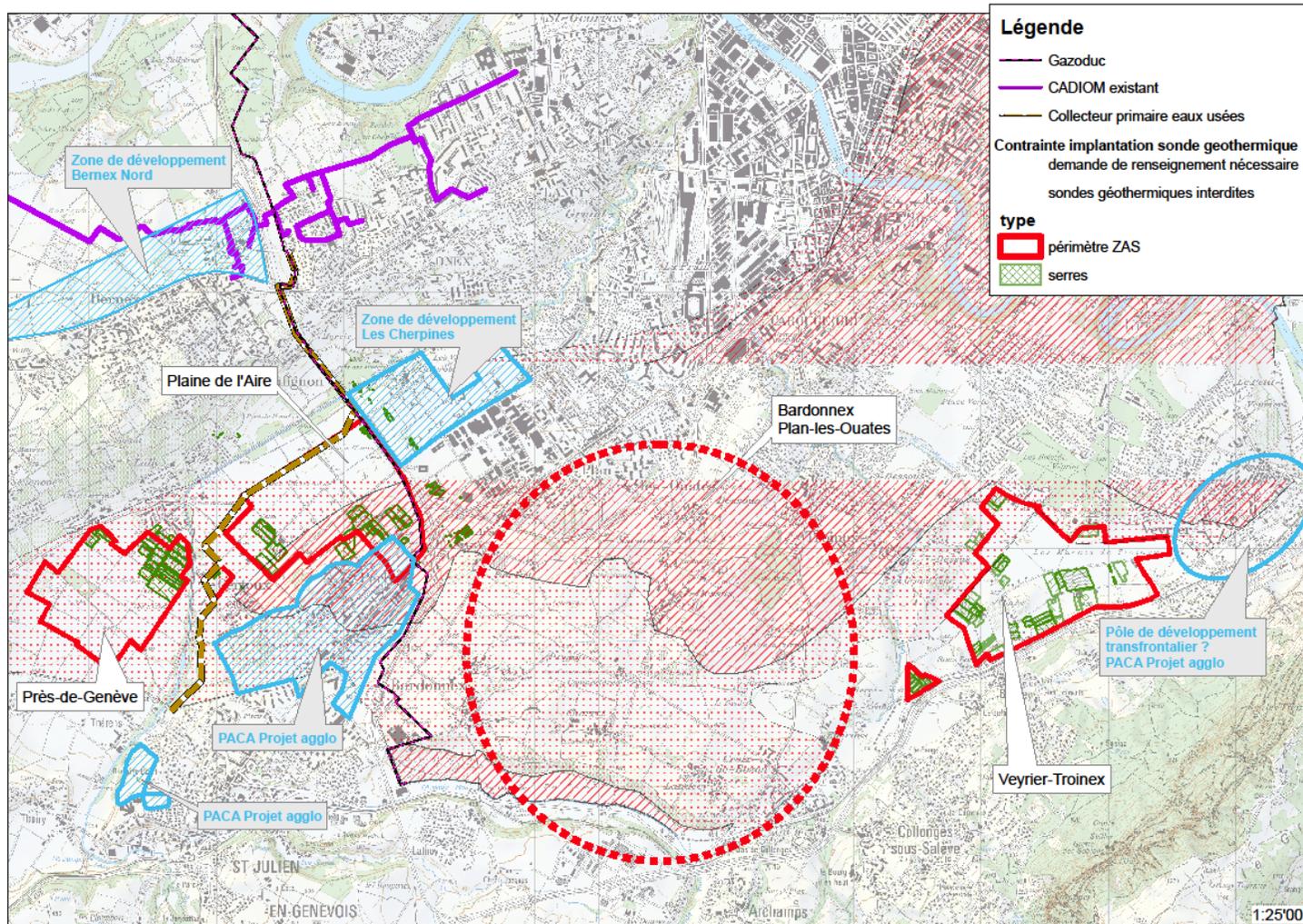


Figure 1 : Carte générale

2.1.1 Plaine de l'Aire

Le périmètre de la Plaine de l'Aire, soit Plaine de l'Aire rive droite et Prés-de-Genève est présenté sur la carte ci-dessous.

La proximité avec la Zone industrielle de Plan-Les-Ouates (ZIPL) et avec le périmètre à urbaniser des Cherpines (+6'600 habitants/+ 3'000 emplois) à l'est du périmètre est à prendre en compte dans le cadre de la définition des stratégies énergétiques de même que le potentiel d'urbanisation défini par le PACA Plaine de l'Aire – St-Julien en extension des villages de Perly et de Certoux en direction de St. Julien (+6'000 habitants/+ 1'400 emplois).

La partie sud du périmètre de la Plaine de l'Aire est concernée par une zone d'interdiction de sondes géothermiques en relation avec la protection de la nappe principale du Genevois. Le secteur des Prés-de-Genève abrite la nappe superficielle d'accompagnement de l'Aire qui pourrait potentiellement être exploitée à des fins énergétiques. La présence du collecteur primaire des eaux usées en provenance de St-Julien à proximité immédiate des périmètres ZAS est également à considérer.

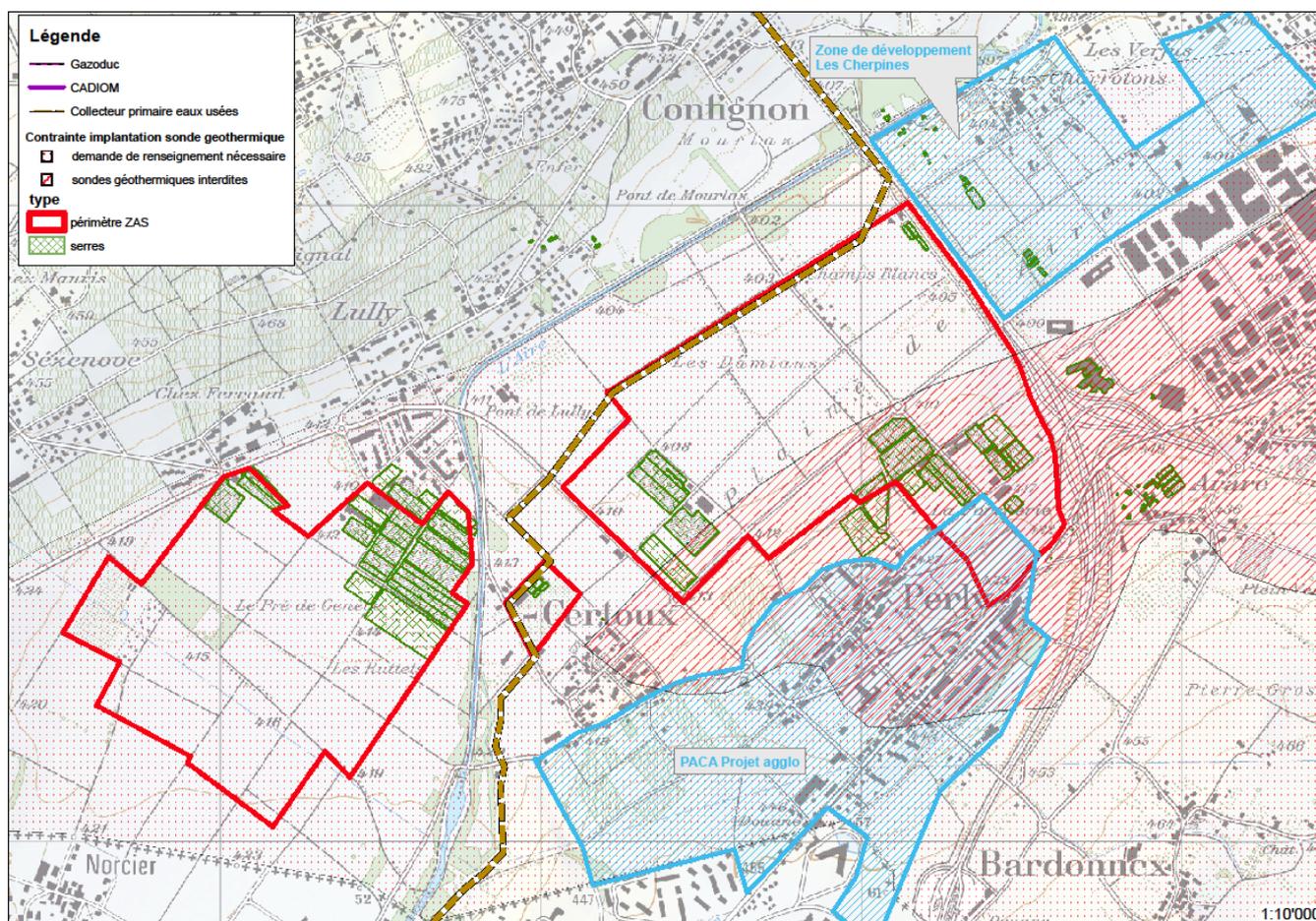


Figure 2 : Carte de situation de la Plaine de l'Aire & Prés-de-Genève

Une étude d'opportunité et d'orientation énergétiques a été conduite en 2009 par le bureau BG pour identifier et cartographier les sources d'énergies renouvelables disponibles sur le territoire du PACA Saint-Julien -Plaine de l'Aire. Ses conclusions en sont les suivantes:



Weinmann-Energies SA

- La richesse du territoire local en terme de ressources énergétiques renouvelables a été mise en évidence au mois deux à trois sources d'énergies renouvelables locales sont disponibles sur la majorité du territoire du PACA. Par conséquent, la densification du PACA en termes d'habitants et d'emplois peut être réalisée favorablement d'un point de vue de la politique énergétique pour autant que les besoins existants et nouveaux soient minimisés et que les énergies renouvelables locales soient utilisées au maximum ;
- L'utilisation des ressources avec une influence dépassant l'échelle du PACA (biomasse, géothermie profonde, déchets ménagers via CADIOM, déchets organiques, etc.) doit être coordonnée à l'échelle de l'agglomération afin de garantir une cohérence à une échelle plus large ;
- Afin d'atteindre les objectifs politiques suisses (société à 2000 watts sans nucléaire) et français (Facteur 4), la diminution des besoins énergétique est une action prioritaire ;
- Afin d'augmenter l'efficacité globale du PACA, des synergies entre différents endroits du territoire et entre différents types de consommateurs (habitat, industries, maraîchage, etc.) doivent être envisagées et étudiées ;
- L'utilisation des ressources renouvelables structurantes (telles que la géothermie profonde et la biomasse) doit être planifiée en amont afin de garantir une bonne organisation du territoire et d'augmenter l'efficacité des infrastructures.

2.1.2 Veyrier - Troinex

Le périmètre de Veyrier – Troinex est délimité par la frontière franco-suisse au sud.

La présence des bourgs de Veyrier et du Pas-de-l'Echelle en limite est du périmètre est à considérer dans le cadre du développement des stratégies énergétiques. Cette entité constitue un pôle de développement transfrontalier identifié dans le cadre du PACA Piémont du Salève-Arve dont le potentiel de développement en termes d'habitants et d'emplois doit encore être précisé.



Weinmann-Energies SA

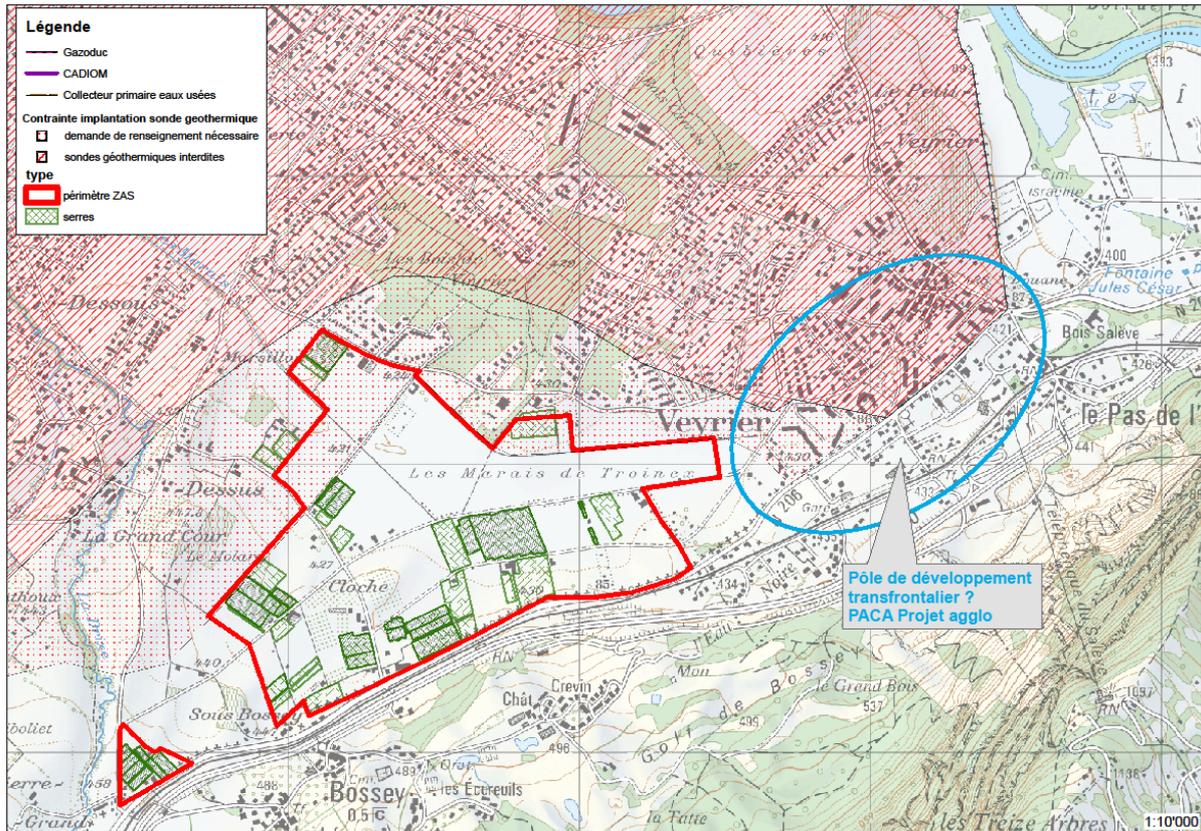


Figure 3 : Carte de situation Veyrier - Troinex

2.1.3 Bardonnex – Plan les Ouates

Le périmètre de Bardonnex – Plan-Les –Ouates présente une implantation plus diffuse des serres existantes et de leur potentiel de développement, répartis en 6 secteurs selon la carte ci-dessous.

Ce périmètre est relativement éloigné des urbanisations et zones d'activités actuelles ou planifiées, à l'exception du secteur 1 Arare, relativement proche de la ZIPLO.

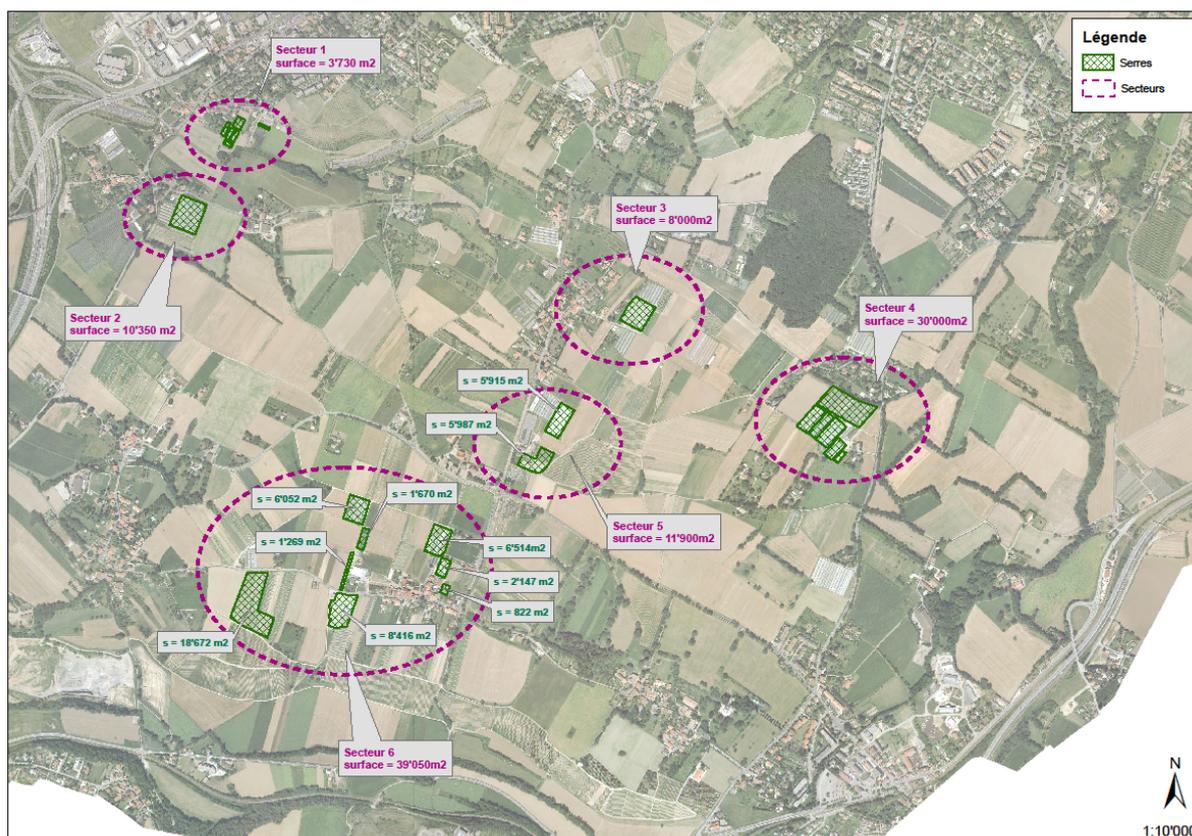


Figure 4 : Carte de situation Bardonnex – Plan les Ouates

2.2 Horizons

Les différents horizons temporels considérés pour l'étude ont été définis comme suit :

- **Etat actuel** : basé principalement sur les données disponibles de 2009
- **Etat futur à court terme** : état futur à + 5 ans – intégrant l'ensemble des projets connus susceptibles d'être concrétisés dans cet intervalle
- **Etat futur à moyen terme** : état futur à + 15 ans (2025) prenant en compte une surface de serres supplémentaires de 20 hectares au total pour tous les périmètres, par rapport à l'état futur à court terme, sur la base d'un taux de croissance plausible estimé
- **Etat futur à long terme** : correspondant à la concrétisation de l'intégralité du potentiel constructible défini par les schémas directeurs d'aménagement des périmètres de la Plaine de l'Aire et de Veyrier-Troinex.

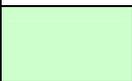


Weinmann-Energies SA

2.3 Données de surfaces de serres et tunnels

Les données de référence de surfaces de serres et de tunnels, considérées pour les calculs de consommation d'énergie et de puissance des ZAS aux différents horizons sont présentées dans les tableaux ci-après. Ces données ont été validées par le groupe d'accompagnement de l'étude en juin 2010.

Le code couleur indique dans les tableaux se réfère aux éléments suivants :

| | |
|---|---|
|  | Entreprises ayant un engagement formel avec l'Agence de l'Energie, données actualisées 2009. |
|  | Données non contenues dans le dossier de l'agence de l'énergie, entreprises hors agence, données à confirmer par le M.O. |
|  | Données tirées de l'étude d'aménagement GMA 2006 et du fichier projet d'extensions connus transmis par Agridea le 19.04.2010 |
|  | Informations reçues de M. Verdonnet, le locataire de Verdonnet-Bouchet, Datasenn, n'a pas d'engagement formel avec l'agence de l'énergie. |

2.3.1 Prés-de-Genève

| Exploitant | Surface serres | Surface tunnels | Total actuel | Projets connus | Etat à court terme | Etat à moyen terme | Etat à long terme | Remarques |
|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Magnin Philippe | 30'099 | 400 | 30'499 | '800 | 71'299 | | | Déduit 1 ha implanté à Arare |
| Jaquenoud Edouard et Ernest | 70'200 | 13'980 | 84'180 | 60'000 | 144'180 | | | Système de réinjection du CO ₂ . |
| Total Prés-de-Genève | 100'299 | 14'380 | 114'679 | 100'800 | 220'000 | 280'000 | 470'000 | |

Tableau 1: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Prés-de-Genève.



Weinmann-Energies SA

2.3.2 Plaine de l'Aire (rive droite)

| Exploitant | Surface serres | Surface tunnels | Total actuel | Projets connus | Etat à court terme | Etat à moyen terme | Etat à long terme | Remarques |
|----------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--|
| Vidonne Daniel Henri | 13'055 | - | 13'055 | 10'000 | 23'055 | | | Gaz: 28 %; Fuel : 72 % |
| Janin Bernard Louis | 20'775 | 21'040 | 41'815 | 10'500 | 52'315 | | | PLA adopté et nouvelle serre construite en 2005 Achat parcelles 35:893 et 35:900 pour construction serres |
| Charles Christophe & Raymond | 19'450 | | 19'450 | | 19'450 | | | - |
| Blondin Frères | 24'000 | 12'020 | 36'020 | 13'500 | 49'520 | | | Système de réinjection du CO ₂ . Projet de serre sur parcelle 35:1045, construite entre temps en 2009 + 7500 m ² ; Prévu de construire une nouvelle serre en 2012 de 13'500 m ² . Exploitation au gaz: 86% et mazout 14%. Eau du réseau uniquement. |
| Total Plaine de l'Aire RD | 77'280 | 33'060 | 110'340 | 34'000 | 140'000 | 200'000 | 700'000 | |

Tableau 2: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Plaine-de-l'Aire.



Weinmann-Energies SA

2.3.3 Veyrier - Troinex

| Exploitant | Surface serres | Surface tunnels | Total actuel | Projets connus | Etat à court terme | Etat à moyen terme | Etat à long terme | Remarques |
|--------------------------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|---|
| Pellet-Pecorini | 20'300 | 800 | 21'100 | - | 21'100 | | | - |
| Mange Raymond | 5'600 | - | 5'600 | - | 5'600 | | | - |
| Lavergnat Jean-Pierre | 25'530 | 12'910 | 38'440 | | 38'440 | | | Extension des serres sur les parcelles 44:10097 et 44:10677, pour regrouper 2.5 ha d'exploitation - Actuellement non chauffé mais envisage chauffer. |
| Cudet Alexandre | 32'600 | 20'000 | 52'600 | 60'000 | 112'600 | | | PLA pour 1 serre (6.6 ha) localisée sur partie SW de la parcelle 48:10024, avec quais de chargement côté route et bassin de rétention côté E de la serre. |
| Carroux André | 3'750 | 4'270 | 8'020 | | 8'020 | | | - |
| Elmer Jacques-Olivier | 11'350 | - | 11'350 | - | 11'350 | | | Jeune exploitant. Est venu à Veyrier-Troinex, car n'a pas pu se développer à Jussy. ZAS Veyrier-Troinex est sa seule possibilité d'agrandissement. Egalement siège à Jussy. |
| Verdonnet-Bouchet | 45'565 | 7'300 | 52'865 | - | 52'865 | | | Chaudière au bois. Remplacement des anciennes serres par des nouvelles. Verdonnet-Bouchet devrait reprendre les serres louées à Datasenn dès 2012 (9'600 m ²). Projet à l'étude pour remplacer l'ancienne chaudière à bois en 2013: centrale bois avec CCF. |
| Datasenn | | | | 15'000 | | | | Datasenn investit pour la construction de ses propres serres à proximité des terrains de Verdonnet, dès 2012. |
| Total Veyrier - Troinex | 144'695 | 45'280 | 189'975 | 75'000 | 250'000 | 310'000 | 750'000 | |

Tableau 3. Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Veyrier-Troinex.



Weinmann-Energies SA

2.3.4 Bardonnex – Plan-Les-Ouates

| Exploitant | Surface serres | Surface tunnels | Total actuel | Projets connus | Etat à court terme | Etat à moyen terme | Etat à long terme | Remarques |
|------------------------------|----------------|-----------------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------------|--|
| J. Menu - P.A. Gaud | 3'700 | | 3'700 | | 3'700 | | | Arare - Vallon des Vaux (n° 1) - horticulteurs |
| Magnin Philippe | 10'300 | | 10'300 | | 10'300 | | | Arare - Au Château (n° 2) |
| A. Cudet/ (P. Brestaz) | 8'000 | | 8'000 | 30'000 | 8'000 | 38'000 | | Saconnex d'Arve Dessus (n°3) - Projet à moyen terme |
| Brestaz Patrice | 10'500 | 3'000 | 13'500 | | 13'500 | | | Route d'Annecy Nord - Champ de la terre (n°4) |
| Bio Saveurs | 6'000 | | 6'000 | 10'000 | 16'000 | | | Compesières - Saconnex d'Arve Dessus (n°5) - Peu chauffé seulement mise hors gel |
| Jean-Marc Vuillod | 6'000 | | 6'000 | 10'000 | 16'000 | | | Compesières - Saconnex d'Arve Dessus (n°5) - Peu chauffé seulement mise hors gel |
| Georges Vuillod | | - | - | | - | | | Charrot (n°6) - Peu chauffé seulement mise hors gel |
| Blondin Frères | | - | - | | - | | | Charrot (n°6) - Peu chauffé seulement mise hors gel |
| Paul Charrot | | - | - | | - | | | Charrot (n°6) - Peu chauffé seulement mise hors gel |
| Eric Vouillamoz/ Salaga | | | | 20'000 | 20'000 | | | Saconnex d'Arve Dessus (n°5) |
| Divers - Non précisé | | | | | | 20'000 | 20'000 | Arare - Au Château (n° 2) |
| Total Bardonnex - PLO | 44'500 | 3'000 | 50'000 | 70'000 | 90'000 | 140'000 | 160'000 | |

Tableau 4: Surfaces de serres et de tunnels sur la ZAS Bardonnex - Plan-Les-Ouates.



3. EVALUATION DES BESOINS ENERGETIQUES

3.1 Consommation d'énergie: hypothèses de calcul

3.1.1 Etat actuel

Les données de consommation d'énergie thermique et électrique du parc des serres et tunnels existants sur les ZAS ont été relevées sur la base de données de consommation d'énergie de l'année 2009 de l'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEC). Sur les 3 zones ZAS de Près-Genève, Plaine de l'Aire et Veyrier-Troinex, une majorité de maraîchers ont un engagement formel avec l'AEnEC. Pour les maraîchers qui ne sont pas inscrits à l'AEnEC, la consommation d'énergie est calculée sur la base d'un ratio de surface kWh/m² °C.

La consommation énergétique des serres dépend de la période de chauffe et de la température dans les serres. Pour prendre en compte ces deux aspects, nous considérons l'indicateur m² °C, mois par mois, qui est ensuite sommé sur l'année.

Définition de l'indicateur m² °C = surface de la serre x (T_c - T_{min, ext}), avec:

- T_c Température de consigne de la serre du mois n
- T_{min, ext} Température minimum extérieure du mois n

Nous pouvons indiquer ci-dessous les valeurs de consommation d'énergie thermique moyennes par unité de surface, pour chaque zone agricole spéciale :

- Près Genève 180 kWh/(m² an)
- Plaine de l'Aire 120 kWh/(m² an)
- Veyrier-Troinex 70 kWh/(m² an)

Certaines ZAS sont actuellement plus énergivores que d'autres. Cela dépend principalement des facteurs suivant :

- type de culture maraîchère, qui définit souvent la température de consigne de chauffage et d'hygrométrie de la serre ;
- période de culture en serres chauffées dans l'année, qui est souvent liée à l'âge du parc de serres existant. Pour une même serre, la consommation d'énergie est bien plus importante, si les cultures s'étendent de janvier à novembre que de mars à octobre ;
- profil de distribution par mois d'énergie thermique est réparti selon l'indicateur m² °C. Cet indicateur est disponible dans la banque de données de l'AEnEC pour chaque mois de l'année.



Weinmann-Energies SA

3.1.2 Situation future à court terme

Pour les nouvelles serres à construire à court terme, soit dans les 5 ans, nous avons pris pour référence des valeurs de consommation d'énergie thermique et électrique de serres à tomates réalisées en 2009, chez les maraîchers de l'AEnEC.

Standard technique moderne 2009 :

- température de consigne de la serre 18 °C ;
- exploitation de la serre de janvier à fin novembre (ce n'est pas le cas actuellement pour tous les serristes, qui cultivent la tomate avec des anciennes serres) ;
- serres équipées d'Open Buffer (cuve de stockage d'eau chaude pour production de CO₂ pendant la journée) ;
- serres équipées de gestion centralisée, avec effet sur l'intégration de la température ;
- toiture avec verre simple horticole équipé d'écrans thermiques (50 % alu) ;
- paroi et pignon avec double vitrage ;
- bandeau isolé, chenaux isolées, vitrage étanche et joint ouvrants étanches ;
- distribution de chaleur BT au niveau des plantes et HT.

⇒ **Consommation d'énergie annuelle: 225 kWh/m² an**

Malgré la mise en œuvre de technologies permettant une utilisation plus rationnelle de l'énergie, la consommation d'énergie annuelle des nouvelles serres est plus élevée que la moyenne des serres existantes du fait d'une production maraîchère plus intensive et plus étendue sur l'année.



3.2 Puissance thermique: hypothèses de calcul

3.2.1 Méthode

Afin d'obtenir un profil de demande de puissance thermique classée mois par mois sur toute l'année, nous avons effectué un calcul de simulation de serre avec le programme " hortisol." Ce logiciel de simulation a été développé par la Haute école Valaisanne à Sion. Il permet de simuler le comportement d'une serre sous différents aspects, consommation d'énergie, puissance thermique demandée, croissance, CO₂, niveau de température et d'hygrométrie dans la serre, ouverture des ouvrants. Actuellement le programme permet de faire des simulations seulement pour la culture de la tomate.

Nous avons pris pour référence une serre de tomate moderne au standard technique de 2009. Pour définir la dimension et le standard technique (coefficient de transfert chaleur des composants de la serre), nous nous sommes référés aux dernières serres construites chez les maraîchers en Suisse romande et plus particulièrement sur Genève. Les caractéristiques techniques utilisées dans le modèle sont les suivantes:

- surface brute de la serre (87 x 115 m): 10'000 m² ;
- culture de la tomate ;
- température ambiante de consigne de la serre pendant la période de culture : 18 °C ;
- période de culture : de mi-janvier à fin novembre, en décembre hors gel avec démontage des serres ;
- toiture de la serre:
 - o vitrage simple horticole + écran thermique (50 % alu) ;
 - o 6 % portion de cadre métallique U= 3 W/m²K ;
 - o coefficient de transfert chaleur de l'ensemble ;
 - o U = 2 W/m²K ;
- paroi de serre et pignons:
 - o paroi en verre horticole en double vitrage 6 % de cadre métallique ;
 - o coefficient de transfert chaleur de l'ensemble ;
 - o U = 2.9 w/m²K ;
- bandeau mur de soubassement:
 - o murs enterrés 40 cm ;
 - o béton 15 cm + isolation 6 cm => U = 0.5 W/m²K ;
- radier: 20 cm béton => U = 3.5 W/m²K

La consommation d'énergie thermique annuelle de la serre modèle se situe à 225 kWh/m² an. La **puissance de chauffage maximale** demandée pour ce type de serre selon la simulation se situe à **150 W / m²**.

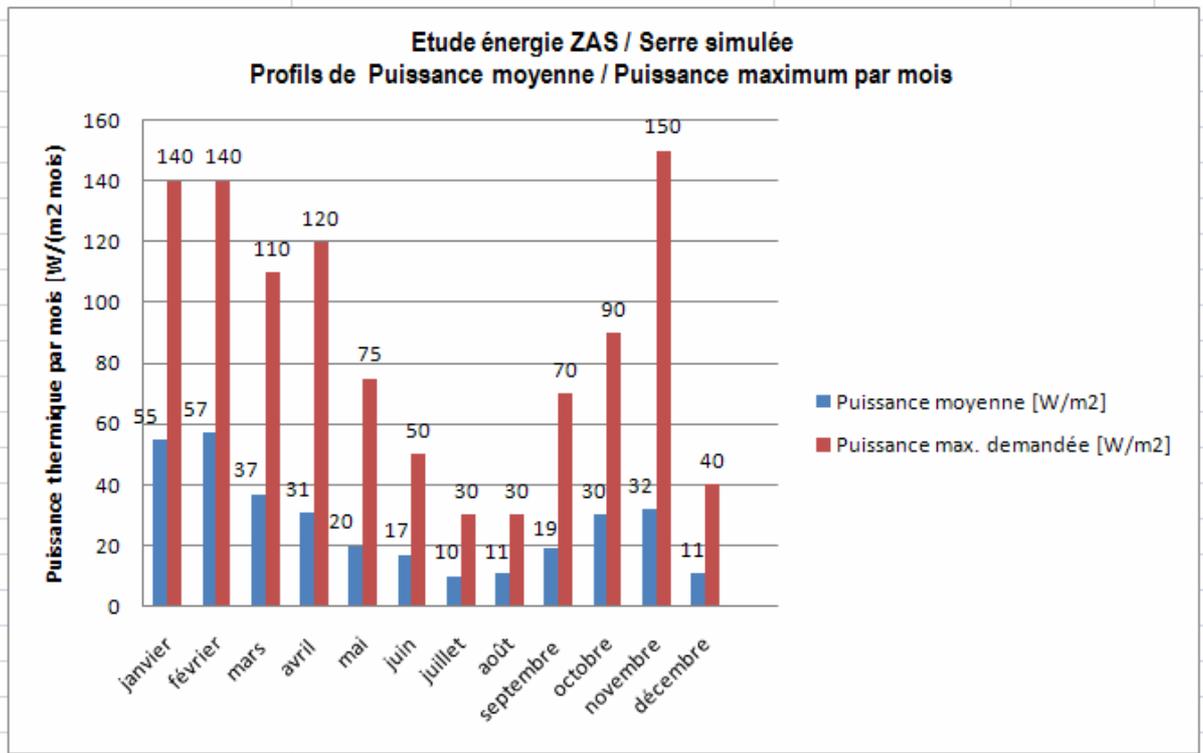


Figure 5: Profils de puissances moyennes.

Nous avons mis en évidence dans le graphe ci-dessus, le rapport entre la puissance de chauffage max. mensuelle et celui de la puissance moyenne mensuelle demandée. Ce rapport se situe à 3 pour les mois d'hiver avec peu de feuillage et peut se situer entre 3.6 et 4.7 pour les mois encore froids la nuit et dans les périodes où la plante a beaucoup de feuilles (soit avril, mai, juin, octobre et novembre).

Ce rapport est élevé car il y a de fortes variations entre la température de jour et de nuit pour la serre. Le programme "Hortisol" tient également compte de l'augmentation de l'humidité dans la serre en raison de la croissance du feuillage.

Pour réduire rapidement cette humidité, il faut ouvrir les ouvrants et apporter de la chaleur à la serre. Cette méthode est employée actuellement par les maraîchers. C'est pourquoi les mois de mars, avril et novembre ont de fortes pointes de demande de puissance de chauffage.

Afin d'adapter ce profil de puissance au mix du parc de serres dans chaque zone nous avons procédé à un ajustement de ce profil de puissance, sur la base de la puissance moyenne calculée par mois. Plus le parc de serres est constitué de serres récentes et exploitées sur toute l'année, plus le rapport de puissance thermique demandée sur surface se rapproche de 140 W/m². Plus le parc de serre est ancien, et plus le rapport de puissance thermique demandée sur surface diminue, car souvent la serre est exploitée avec une culture moins énergivore que la tomate, où la serre n'est chauffée que de mars à octobre.

3.2.2 Influence des Open Buffers sur la demande en puissance thermique

Avantages des Open Buffer

Les "Open Buffer" sont des cuves de stockage d'eau chaude à 80 °C. Elles sont actuellement couramment mises en œuvre, avec des serres modernes, qui sont exploitées et chauffées aussi dans toute la période hivernale. On trouve ces cuves de stockage chez les serristes qui produisent pendant la journée avec leur chaudière à gaz du CO₂, qui est absorbé par les plantes dans la serre, afin de favoriser leur croissance. Cette production de CO₂ est réalisée la journée (période de lumière pour les plantes). Cela ne coïncide cependant



Weinmann-Energies SA

pas dans la période de la journée où les serres ont des besoins de chauffage importants. C'est pourquoi il est prévu de stocker la chaleur produite la journée, pour l'utiliser la nuit lorsque les besoins en chaleur deviennent importants dans les serres, en particulier l'hiver.

En plus de l'utilisation ci-dessus, la cuve de stockage possède les avantages suivants:

- elle permet une allure optimale de fonctionnement des brûleurs, d'où un meilleur rendement de combustion ;
- elle permet de greffer facilement sur le circuit de stockage d'eau chaude, d'autres sources futures de production de chaleur (récupération chaleur, cogénération ou production de chaleur par la biomasse ou biogaz) ;
- elle permet de réduire la puissance de pointe de chauffage demandée (délestage).

Les cuves de stockage sont actuellement dimensionnées, pour pouvoir fournir la chaleur nécessaire pour une nuit d'hiver qui suit la journée de production de CO₂.

Hypothèses de dimensionnement

Selon la littérature spécialisée ("Rationelle Energienutzung im Gartenbau"), et les dimensions des diverses cuves présentes chez les serristes romands, nous prenons pour valeur de dimensionnement : 12 l/m², soit 120 m³ par hectare de serre équipée.

Afin de mettre en évidence l'importance du délestage dû aux Open Buffer, nous calculons une puissance moyenne fournie par la cuve de stockage la nuit. Nous prenons pour hypothèse :

- Température de l'eau de stockage: 80 °C
- Delta T: 30 °C
- Durée de la nuit: 10 h
- Volume de stockage: 12 l/m²

Puissances de délestage

Les résultats de cette puissance moyenne de délestage sont présentés sur les graphes de la demande de puissance classée ci-après, de façon distincte, à court terme, moyen terme, et long terme pour chaque zone dans les chapitres suivants.

Exemple : ZAS Près Genève

- Court terme : surface brute de 216'000 m² avec 50 % de surface équipée d'Open Buffer => 5 MW
- Moyen terme : surface brute de 280'000 m² avec 60 % de surface équipée d'Open Buffer => 7 MW
- Long terme : surface brute de 470'000 m² avec 70 % de surface équipée d'Open Buffer => 14 MW

3.2.3 Puissance demandée maximale

Nous donnons ci-dessous la valeur de la puissance demandée maximum par unité de surface, à court terme, moyen terme, et long terme, une moyenne est réalisée sur les 4 ZAS :

| | Court terme | Moyen terme | Long terme |
|---|--------------------|--------------------|-------------------|
| [W/m²] | 90 | 98 | 109 |
| [W/m²] avec Open Buffer | 69 | 72 | 80 |



Tableau 5: Puissance demandée maximale

3.3 Hypothèses des scénarios d'évolution

Remarques générales

De nombreux facteurs, non connus à ce jour, peuvent influencer les futurs scénarios d'évolution de la consommation d'énergie et de demande de puissance thermique des serristes des ZAS:

- Quels vont être les exigences du législatif pour l'avenir? Pour l'instant il n'y a pas de garantie que des conditions cadre soient données.
- Quelle va être l'évolution future du coût de l'énergie fossile (gaz) ?
- Quels seront les besoins des serristes à l'avenir?
- Quelle est la variation du type et du mode de culture?
- Comment varie l'utilisation du CO₂ pendant l'année pour favoriser la croissance des plantes ? Ce point est important pour déterminer la période de stockage de chaleur pendant l'année.
- Quels investissements les serristes sont-ils prêt à réaliser?

Actuellement le mode de culture le plus fréquent chez les maraîchers est la culture du concombre et de la tomate.

Les hypothèses (validées par l'UMG et le SCANE) nécessaires pour l'évaluation de l'évolution de la demande de puissance et de la consommation d'énergie thermique, à court, moyen et long terme ont été différenciées en trois catégories:

- Evolutions techniques ;
- Changement de cultures ;
- Renouvellement du parc de serres.

3.3.1 Evolutions techniques

L'évaluation de l'amélioration des performances des nouvelles serres à moyen et long terme par rapport au standard de 2009 est surtout basée sur les données collectées par l'AEnEC sur les 6 dernières années. Elles sont mentionnées ci-dessous :

- Augmentation de la performance des vitrages et des écrans thermiques (évolution double vitrage pour la toiture avec des verres plus lumineux, non réalisé actuellement).
- Augmentation de la part plus importante du chauffage basse température (BT) par rapport au chauffage haute température (HT). Actuellement la répartition chauffage BT /HT sur le parc de serres existantes a été considérée 50 % BT / 50 % HT. Cette répartition a été considérée à 60 % BT / 40 % HT pour les nouvelles serres construites jusqu'à l'horizon moyen terme. A long terme, on considère qu'elle deviendra 80 % chauffage BT et 20 % chauffage HT.
- Augmentation de l'utilisation de cuve de stockage de chaleur (Open-Buffer) et augmentation du volume de stockage par rapport au standard actuel. Ceci sera effectué pour réduire les pointes de puissance demandées avec de nouveaux critères de dimensionnement, ainsi que pour permettre le stockage d'autres vecteurs de chaleur (réseaux de chauffage à distance, réseaux de chaleur avec biomasse, cogénération, pompe à chaleur, récupération de chaleur des machines frigorifiques, etc.).



Selon les données de l'AEnEC à l'état actuel, nous considérons que 50% du parc de serres chauffées est équipé d'une cuve de stockage. Vu les avantages que peut apporter la cuve de stockage, pour les cultures de tomate dans des serres chauffées à 18 °C dont l'exploitation s'étend du 10 janvier au 30 novembre, la mise en place de ces équipements est en augmentation.

| Court terme | Moyen terme | Long terme |
|-------------|-------------|------------|
| +50% | +60% | +70% |

Tableau 6: Hypothèse d'évolution du pourcentage de surface de serres équipée d'une cuve de stockage [%]

Selon les données de l'AEnEC, les cuves de stockage utilisées à ce jour sont dimensionnées pour fournir la chaleur pour la nuit suivant la journée de stockage pendant laquelle il a été produit du CO₂ pour la serre.

Le volume des cuves existantes relevées chez les serristes inscrits à l'AEnEC varie entre 9 et 15 l/m² de serre équipée. On considère la valeur moyenne de 12 l/m², avec une température de l'eau de stockage de 80 °C pour calculer la puissance moyenne de délestage. La chaudière traditionnelle est toujours nécessaire en appoint la nuit d'hiver pour les demandes de puissance de pointe.

Selon les considérations présentées ci-dessus, et sur la base de l'expérience des résultats obtenus par les entreprises inscrites à l'AEnEC sur les 6 dernières années, les prévisions d'économie d'énergie des nouvelles serres qui seront construites à moyen et long terme par rapport à celle de 2009 se présente comme suit :

Economie d'énergie

| | |
|---------------------|--|
| Moyen terme | + 5 % par rapport au standard de 2009 |
| A long terme | + 10 % par rapport au standard de 2009 |

Tableau 7: Potentiel d'économie d'énergie

Energie thermique basse et haute température

La répartition de consommation d'énergie dans les nouvelles serres à construire, à moyen terme, avec une température de consigne ambiante de 18 °C, est considérée comme étant la suivante:

- 60 % basse température (BT)
- 40 % haute température (HT)

Cette hypothèse tient compte que les constructeurs de serres devront faire des efforts importants pour dimensionner leur réseau de tuyauterie de chauffage à basse température, par rapport à l'état actuel.

Les données de construction des serres actuelles sont les suivantes:

- **Circuit dimensionné pour la haute température.** Tubes rails au sol de diamètre env. 52 mm, température de 80°C avec une différence de température de 20 °C, couverture en puissance chauffage nécessaire de 85 % à 90 % (puissance thermique max. en hiver) ;
- **Circuit dimensionnée pour la basse température.** Tubes de végétation flexible BT de diamètre 38 mm, température de 40 °C avec une différence de température de 5 à 7 °C, couverture en puissance de chauffage de 10 à 15 % (puissance thermique max. en hiver).

Les nouvelles serres n'ont plus de tubes HT sous toiture pour faire fondre la neige. Les principales observations suivantes peuvent être formulées:



Weinmann-Energies SA

- Pour pouvoir chauffer toute la serre en basse température, cela implique de densifier le réseau de tubes au sol, et surtout sur les côtés latéraux. Mais cela pose aussi des problèmes de luminosité. L'adaptation des serres existantes reste coûteuse et compliquée.
- En effet, en tenant compte du concept de construction des serres décrit ci-dessus, en alimentant en basse température (40 °C) les 2 circuits HT et BT, on couvre tout au plus 40% des besoins de puissance chaleur nécessaire en hiver, dans l'état actuel. Ce n'est largement pas suffisant pour maintenir la température de consigne de 18 °C en hiver.
- En considérant, qu'en été et à la mi-saison la chaleur est principalement fournie par les Open Buffer, l'énergie consommée à basse température ne dépasse pas 50 % dans l'état actuel.
- Selon l'avis de divers serristes et des personnes expertes en technique de serres, la serre chauffée en basse température n'est pas encore à l'heure actuelle un standard.

3.3.2 Changements de culture

Avec l'approbation de l'UMG, nous avons tenu compte de l'effet de réduction de consommation d'énergie sur le parc existant, en raison d'un changement d'affectation de culture consommant moins d'énergie, dans le cadre de la construction de nouvelles serres à court, moyen et long terme.

Les facteurs considérés pour le calcul par zone sont présentés ci-dessous.

| ZAS | | Pourcentage des serres construites avec changement de culture | Réduction consommation d'énergie |
|-----------------------------|-------------|---|-------------------------------------|
| Prés-Genève | Court terme | 100% | 30% |
| | Moyen terme | 70% | 30% |
| | Long terme | 70% | 40% |
| Plaine de l'Aire | Court terme | 100% | 25% |
| | Moyen terme | 70% | 30% |
| | Long terme | 40% | 40% |
| Veyrier-Troinex | Court terme | 100% | 25% |
| | Moyen terme | 70% | 30% |
| | Long terme | 70% | 40% |
| Bardonnex / Plan-les-Ouates | Court terme | 100% | 25% |
| | Moyen terme | 70% | 30% |
| | Long terme | 70% | 40% |

Tableau 8: Influence du changement de culture.



Weinmann-Energies SA

3.3.3 Renouvellement des serres existantes

Les valeurs du tableau ci-dessous résultent de l'hypothèse suivante :

- La durée de vie d'une serre, sans gros travaux de renouvellement ou de remplacement, est de 30 ans. Les serres arrivant en bout de durée de vie ne sont pas détruites et le terrain n'est pas vendu, celles-ci sont remplacées par une serre moderne ou assainie avec des travaux importants. Les données de l'Agence de l'énergie ne permettent pas de connaître les dates de réalisation du parc des serres existantes.
- Le pourcentage est calculé par rapport à la surface totale de serres à moyen terme et à long terme.

Tableau n° 5 : Part de renouvellement du parc des serres existant (inclus les projets à réaliser d'ici 5 ans) pour le moyen et long terme.

| ZAS | Part du parc de serres qui sera renouvelé au standard des serres modernes à moyen terme | Part du parc de serres qui sera renouvelé au standard des serres modernes à long terme |
|---------------------------|--|---|
| | (Renouvellement des serres construites entre 1990 et 1995) | (Renouvellement des serres construites dès 2000) |
| Près-Genève | 25 % | 15 % |
| Plaine de l'Aire | 25% | 10% |
| Veyrier - Troinex | 25% | 10% |
| Bardonnex-Plan-les-Ouates | 25 % | 35% |

Tableau 9: Part de renouvellement du parc des serres existant (inclus les projets à réaliser d'ici 5 ans) pour le moyen et long terme.



3.3.4 Quantification de l'économie d'énergie liée au renouvellement des serres à moyen et long terme

L'économie d'énergie liée au renouvellement des serres dépend des cas, notamment de l'âge de l'ancienne serre rénovée, et peut varier entre 15 et 30 % pour une rénovation au standard actuel. La liste non exhaustive des améliorations portent en général sur les points techniques suivants:

- gain de rendement sur la nouvelle production chaleur ;
- gain d'économie de chaleur sur la distribution chaleur, part plus importante du chauffage BT, meilleur calorifugeage des conduites ;
- le vitrage des parois passe de simple à double vitrage ;
- nouveau ou renouvellement des écrans thermiques par des écrans plus performants ;
- bandeau isolé, chenaux isolées, vitrage étanche et joints ouvrants étanches ;
- mise en place de logiciels de dernière génération avec effet sur l'intégration de température ;
- écrans et ouvrants avec potentiomètre.

Nous prendrons pour valeur d'économie d'énergie 20% pour la rénovation d'une serre ancienne de 30 ans au standard actuel. (Rénovation de serres construites entre 1975 et 1985).

Nous proposons les valeurs suivantes pour le renouvellement des serres à moyen et long terme :

| Economie d'énergie due au renouvellement des serres à moyen terme (serres construites entre 1985 et 1995) | Economie d'énergie due au renouvellement des serres à long terme (serres construites dès 2000) |
|--|---|
| 25% | 12% |

Tableau 10: Valeur d'économie d'énergie pour le renouvellement des serres à moyen et long terme

3.4 Calculs des profils de demande d'énergie et puissance

3.4.1 Présentation des résultats du calcul

Les profils de consommation d'énergie thermique et de puissance demandée par mois sont présentés ci-après pour chaque périmètre ZAS, pour les horizons temporels à court, moyen et long terme. Pour chaque périmètre, un tableau résumant les principales données de surface de serres, consommation d'énergie et de puissance thermique est présenté.



Weinmann-Energies SA

3.4.2 Croquis de la serre de référence

Type de serre : multichapelle

Surface brute de serre (115 m x 87 m) = 10'000 m²

Hauteur : 5 m

Etude énergie ZAS

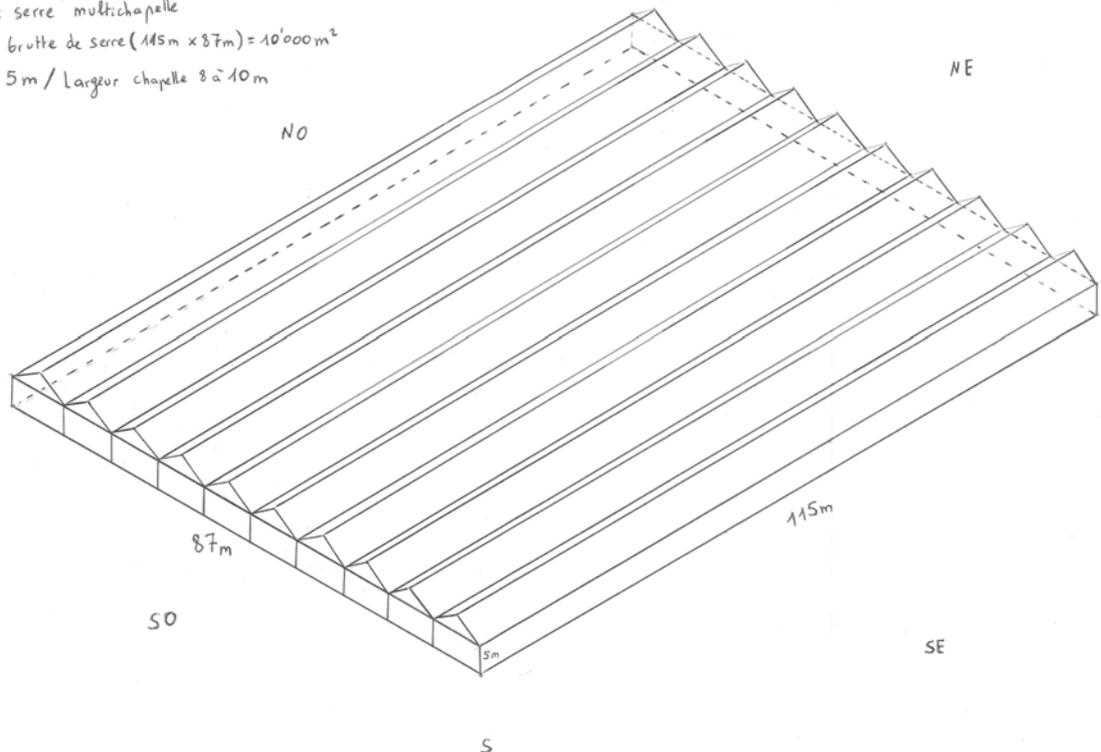
1:500

Croquis de serre pour simulation "hortisol"

Type de serre multichapelle

Surface brute de serre (115 m x 87 m) = 10'000 m²

Hauteur 5 m / Largeur chapelle 8 à 10 m





3.4.3 ZAS Près-Genève

| | Surface totale serres + tunnels chauffés [m ²] | Besoin en énergie thermique [GWh/an] | Puissance de chauffage max. [MW] | Puissance de chauffage max. avec 'Open Buffer' [MW] | Consommation d'énergie électrique [GWh/an] |
|--------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| A court terme | 220'000 | 37.9 | 24 | 20 | 1.5 |
| Moyen terme (2025) | 280'000 | 46.2 | 31 | 23 | 1.8 |
| Long terme (2040) | 470'000 | 74.0 | 52 | 38 | 2.9 |

Tableau 11: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Près-Genève (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés)

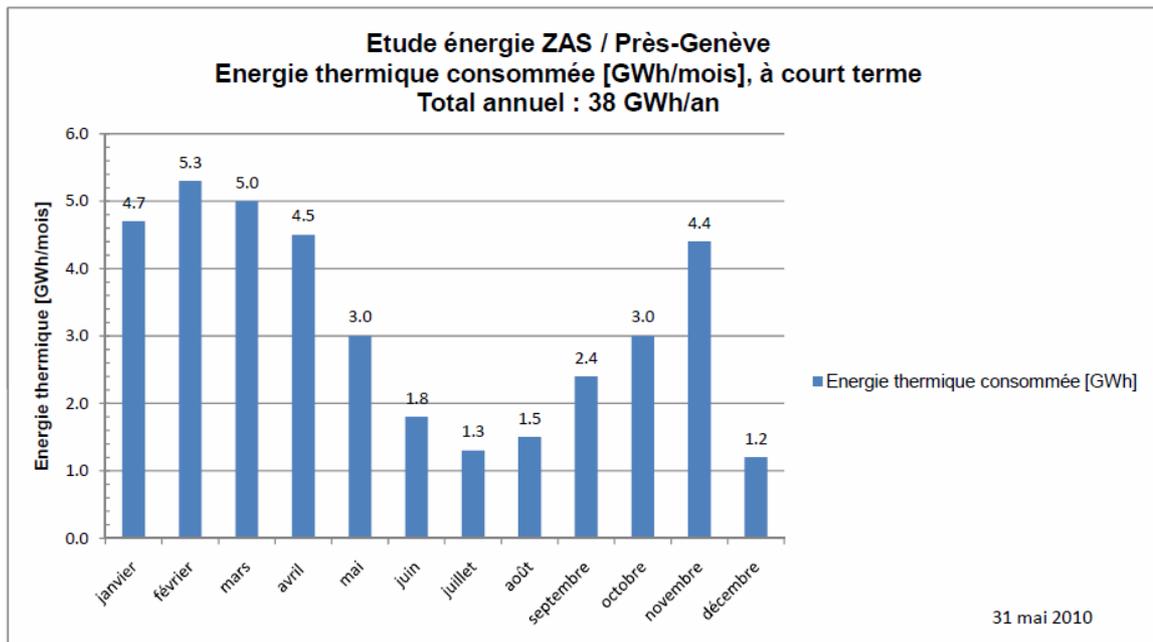


Figure 6: Energie thermique consommée par mois, à court terme.

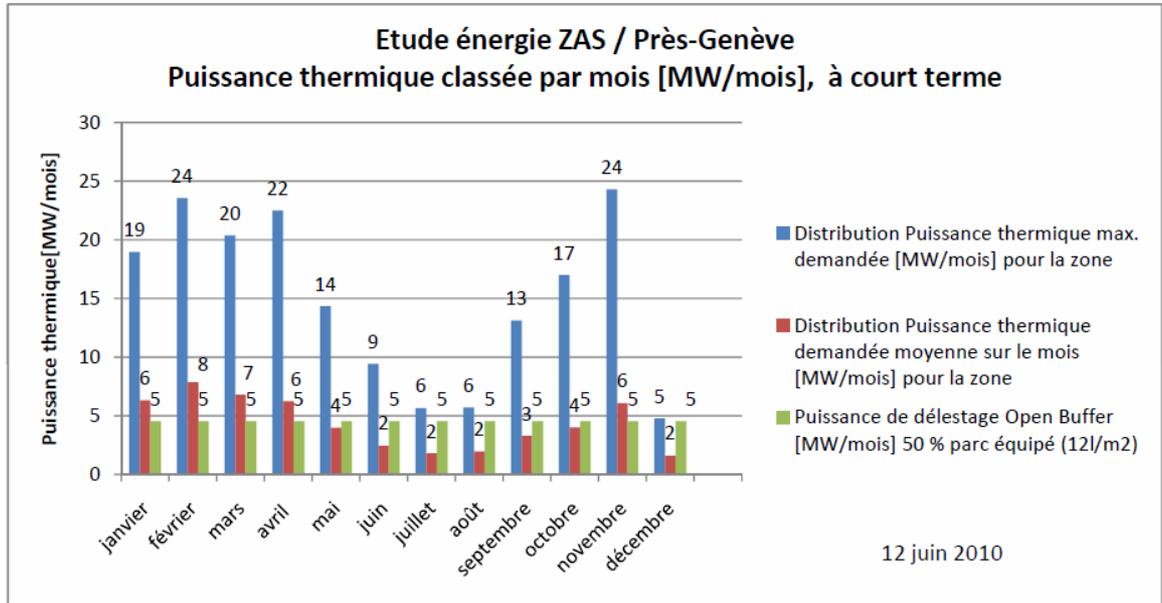


Figure 7: Puissance thermique classée par mois, à court terme.

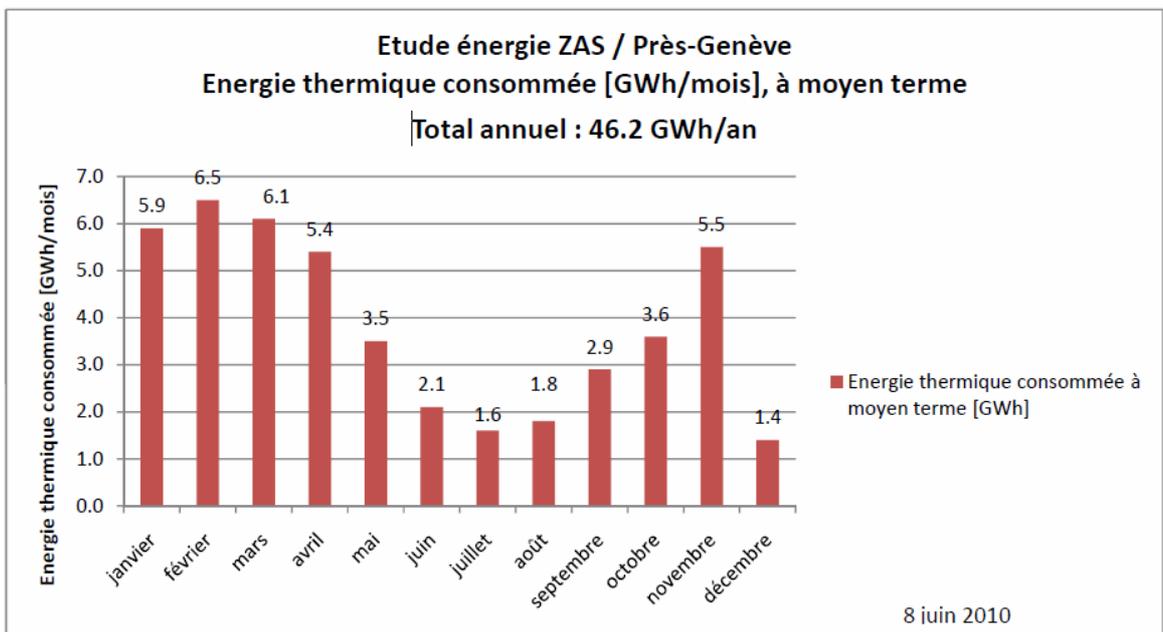


Figure 8: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme.

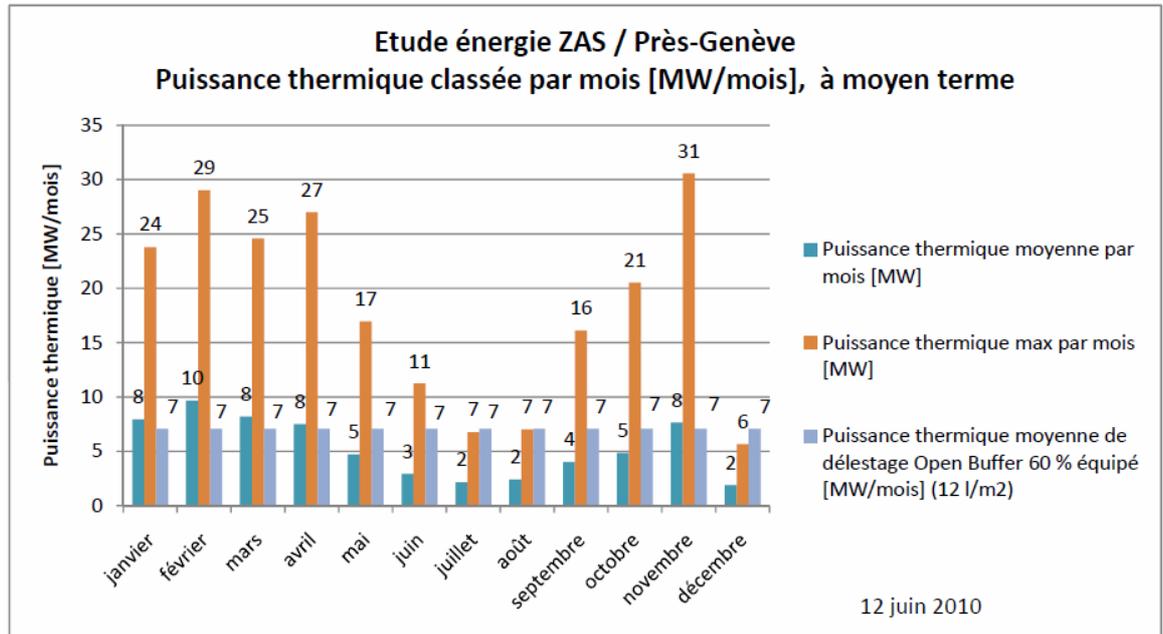


Figure 9: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme.

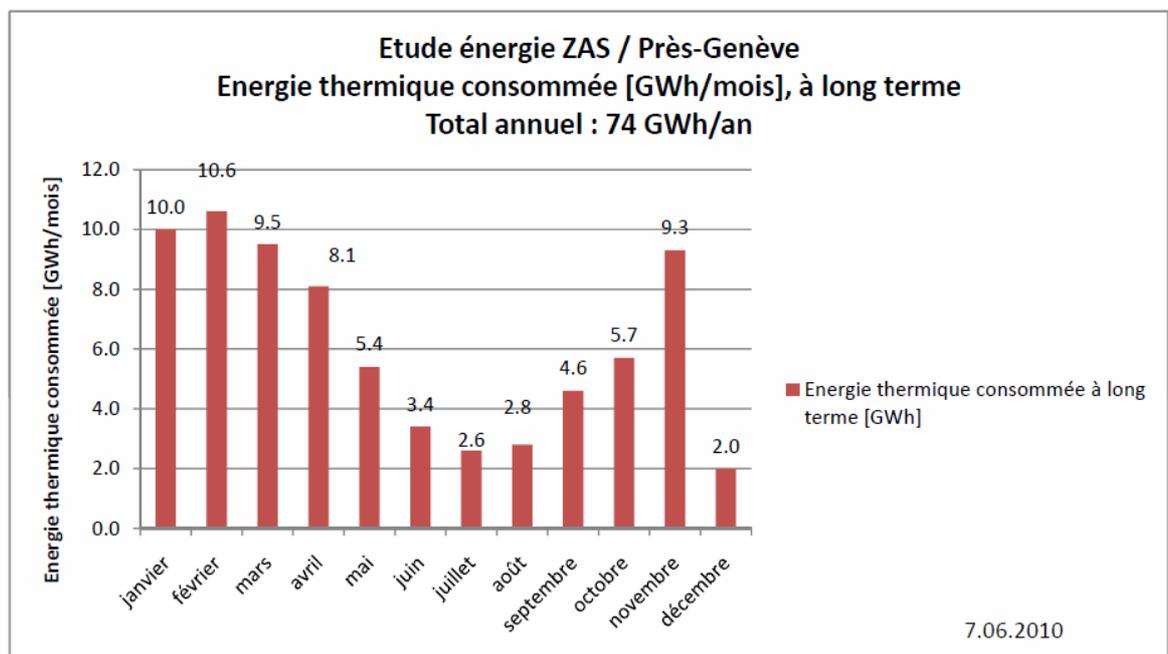


Figure 10: Energie thermique consommée par mois, à long terme.

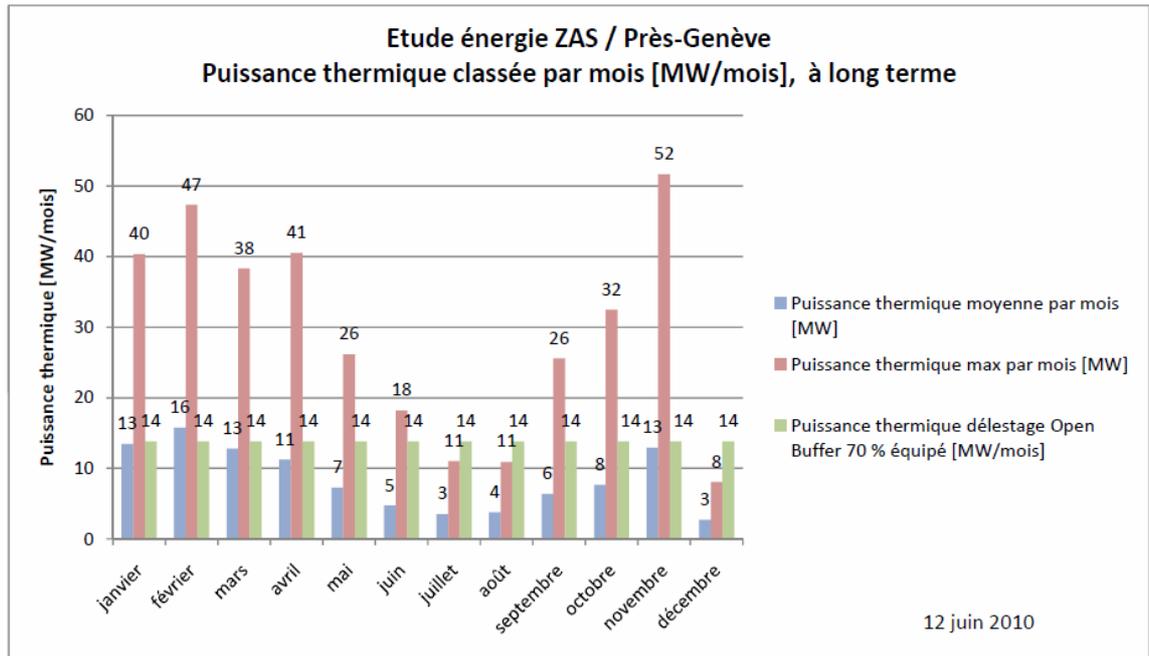


Figure 11: Puissance thermique classée par mois, à long terme.

3.4.4 ZAS Plaine de l'Aire

| | Surface totale serres + tunnels chauffés [m ²] | Besoin en énergie thermique [GWh/an] | Puissance de chauffage max. [MW] | Puissance de chauffage max. avec 'Open Buffer' [MW] | Consommation d'énergie électrique [GWh/an] |
|--------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| A court terme | 144'000 | 20.4 | 13 | 10 | 0.7 |
| Moyen terme (2025) | 200'000 | 29.9 | 20 | 15 | 1.1 |
| Long terme (2040) | 700'000 | 117.3 | 88 | 67 | 3.8 |

Tableau 12: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Plaine de l'Aire (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés).

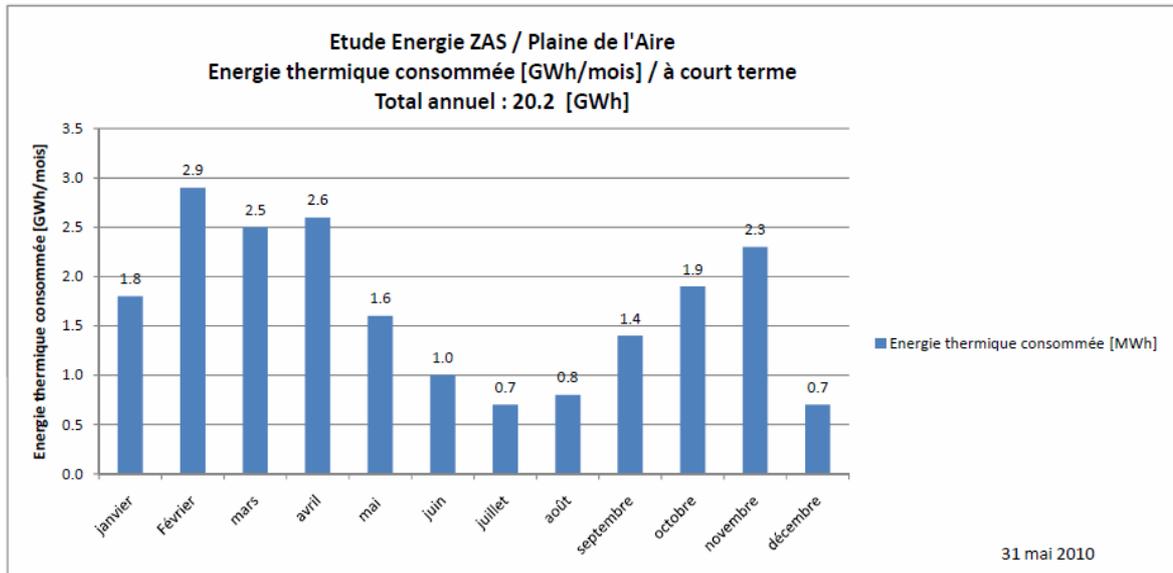


Figure 12: Energie thermique consommée par mois, à court terme.

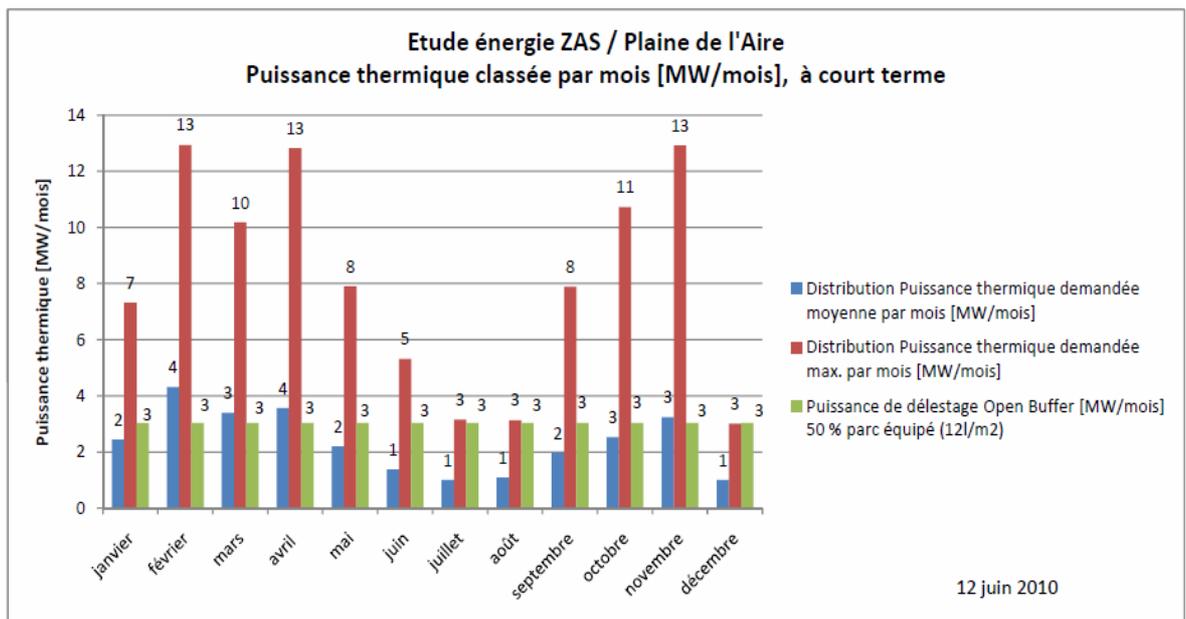


Figure 13: Puissance thermique classée par mois, à court terme.

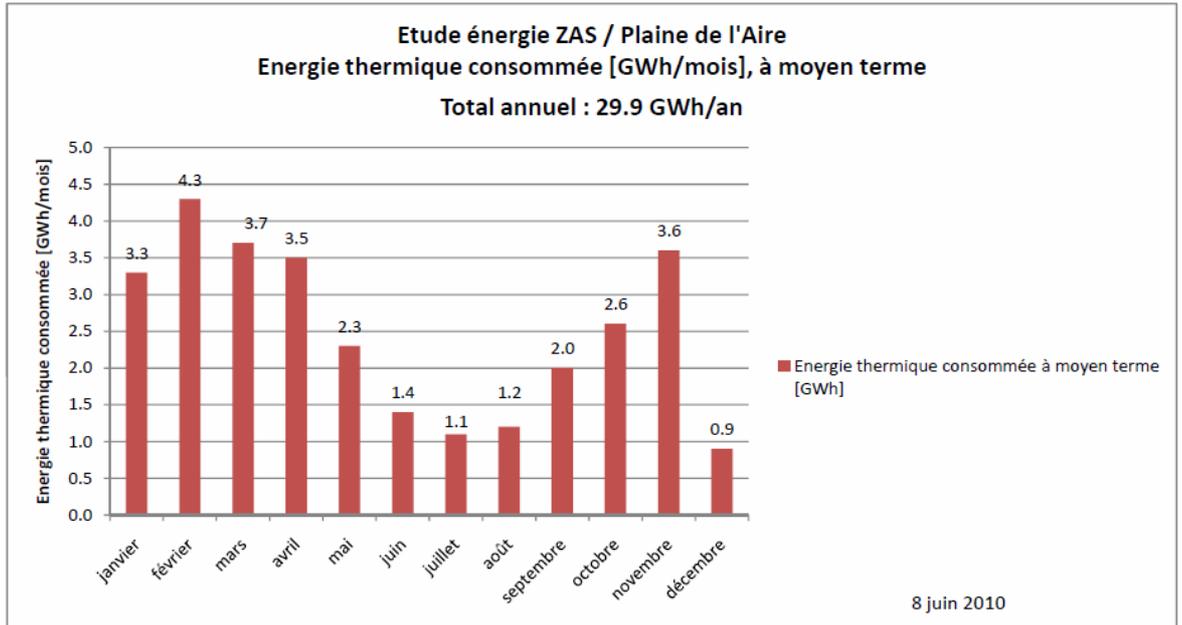


Figure 14: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme.

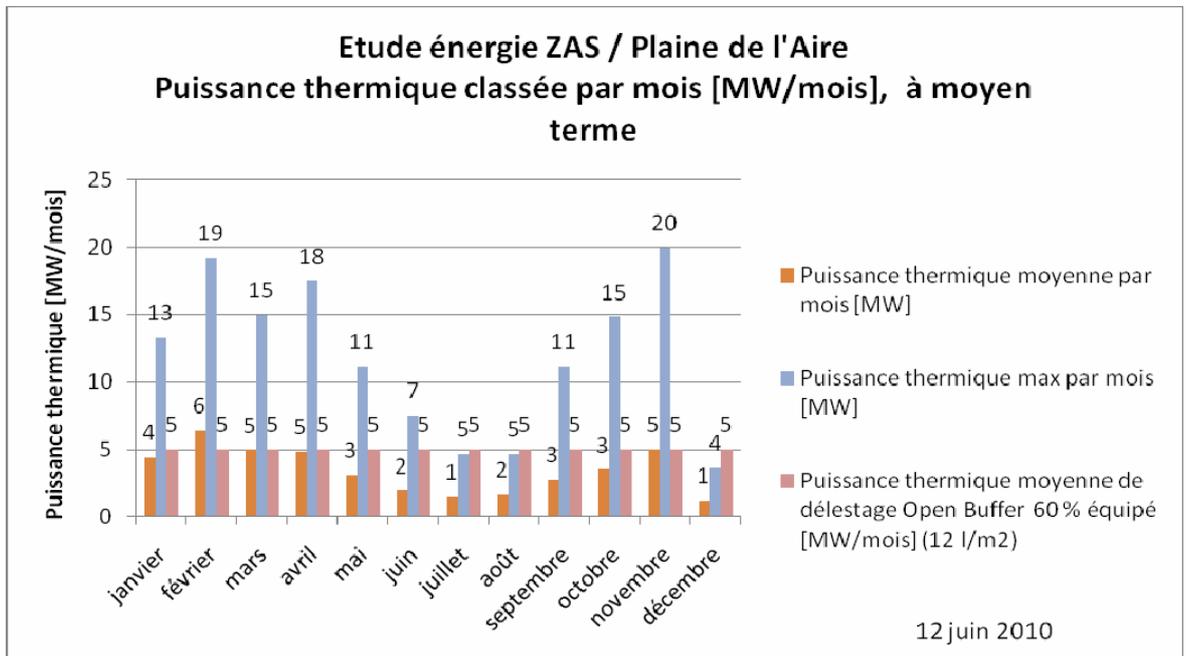


Figure 15: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme.

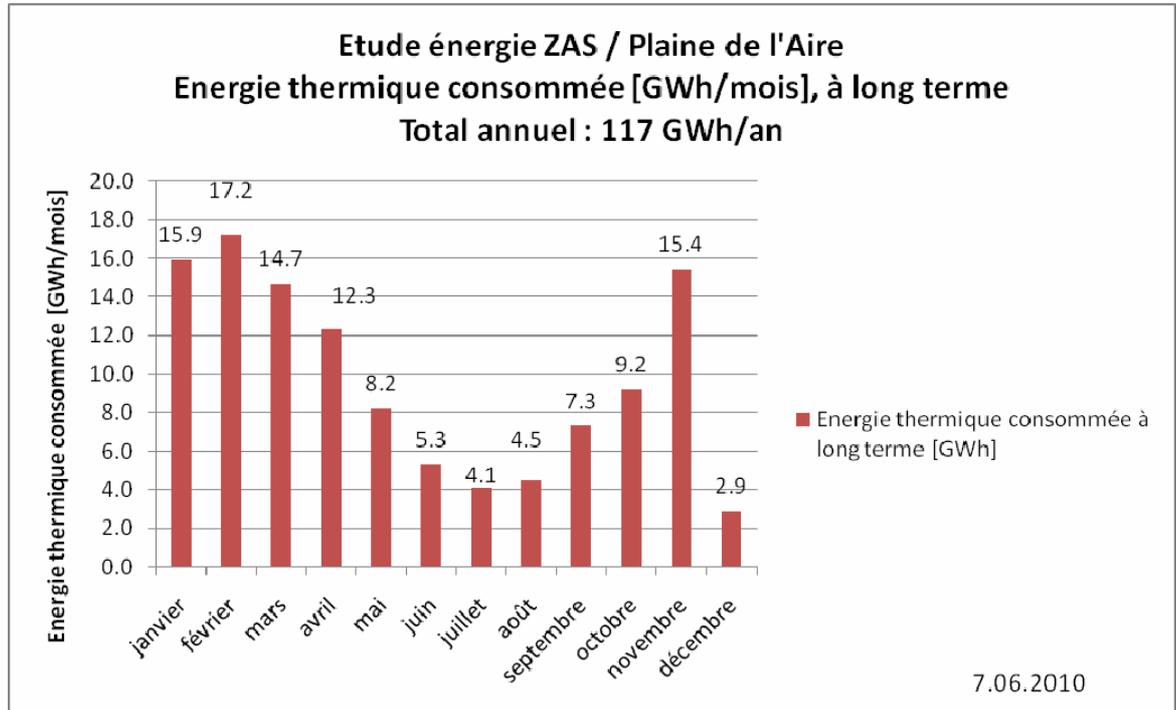


Figure 16: Energie thermique consommée par mois, à long terme

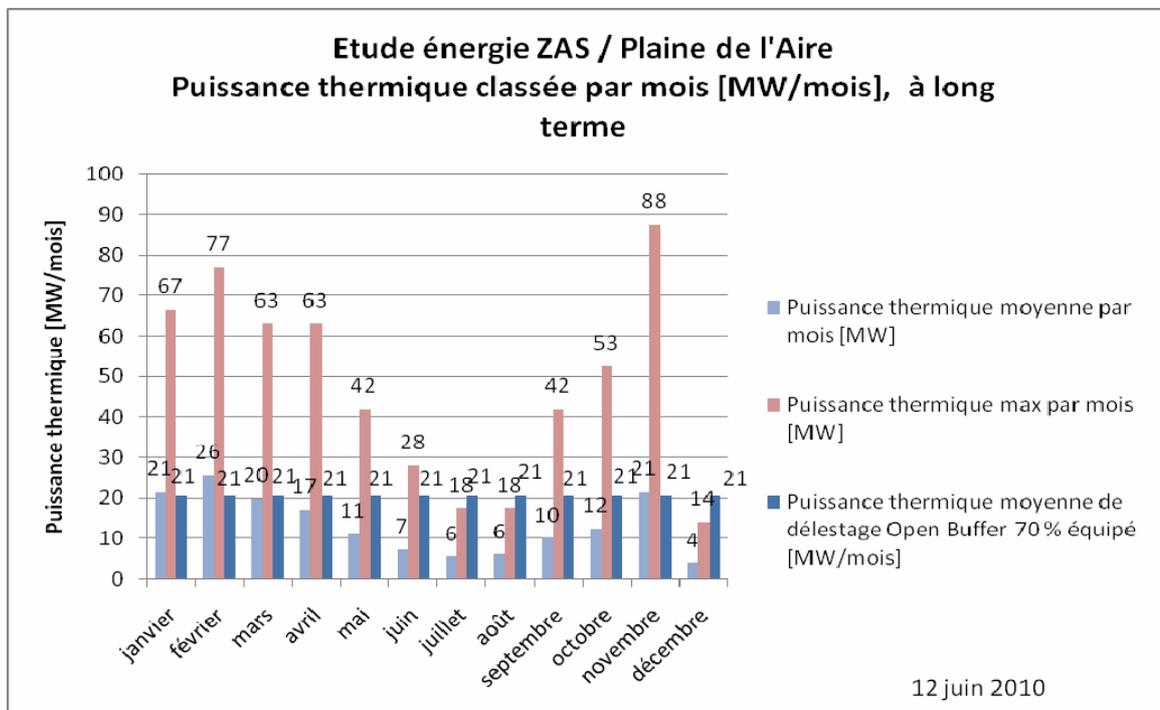


Figure 17: Puissance thermique classée par mois, à long terme.



3.4.5 ZAS Veyrier – Troinex

| | Surface totale serres + tunnels chauffés [m ²] | Besoin en énergie thermique [GWh/an] | Puissance de chauffage max. [MW] | Puissance de chauffage max. avec 'Open Buffer' [MW] | Consommation d'énergie électrique [GWh/an] |
|--------------------|--|---|---|---|--|
| A court terme | 265'000 | 29.0 | 22 | 16 | 1.8 |
| Moyen terme (2025) | 310'000 | 36.2 | 28 | 20 | 2.0 |
| Long terme (2040) | 750'000 | 108.6 | 90 | 68 | 4.4 |

Tableau 13: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Veyrier-Troinex (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés).

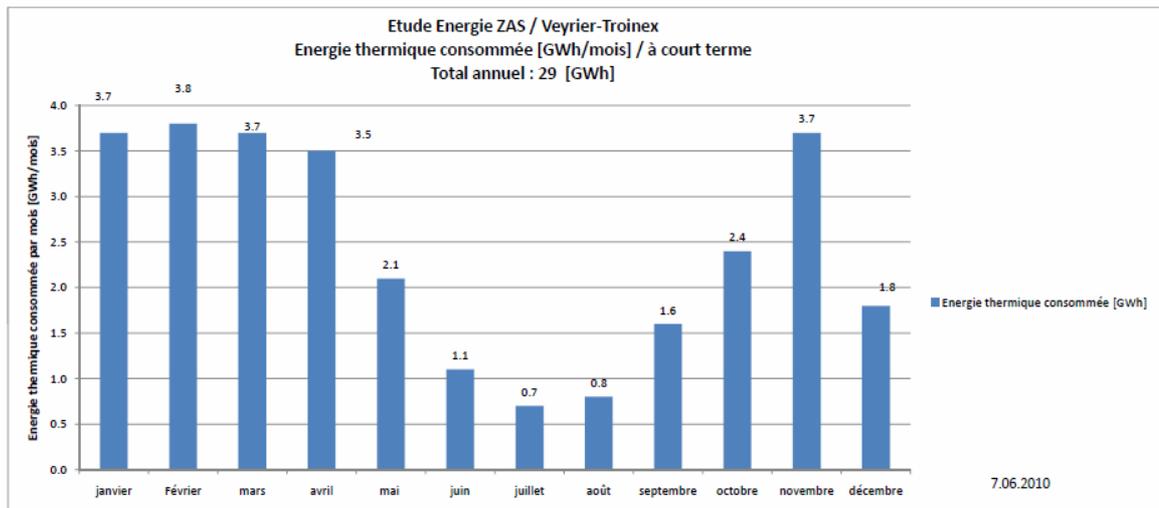


Figure 18: Energie thermique consommée par mois, à court terme.

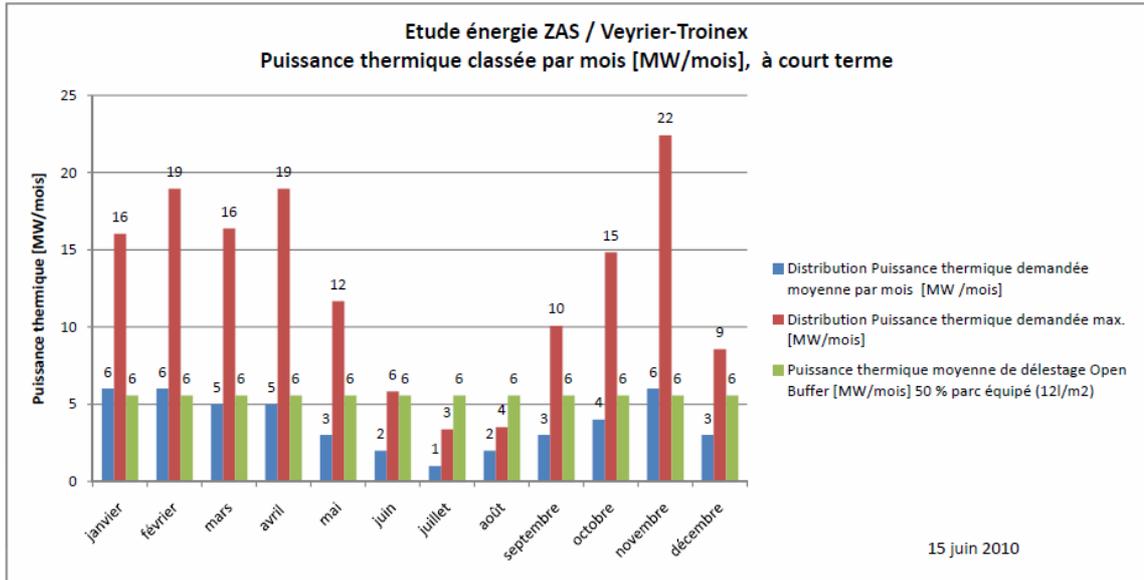


Figure 19: Puissance thermique classée par mois, à court terme.

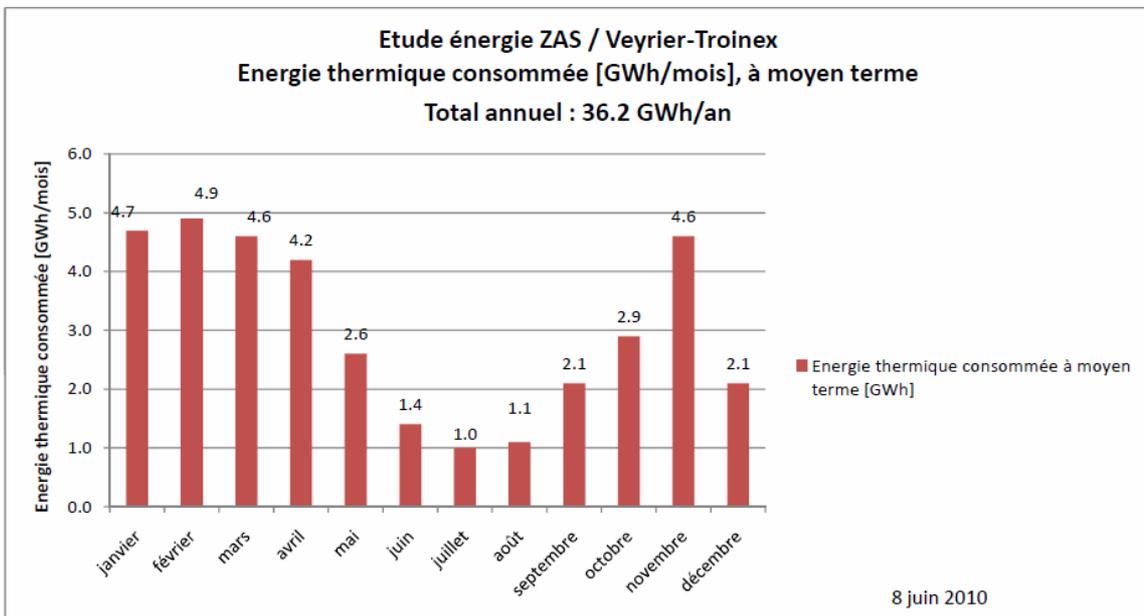


Figure 20: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme

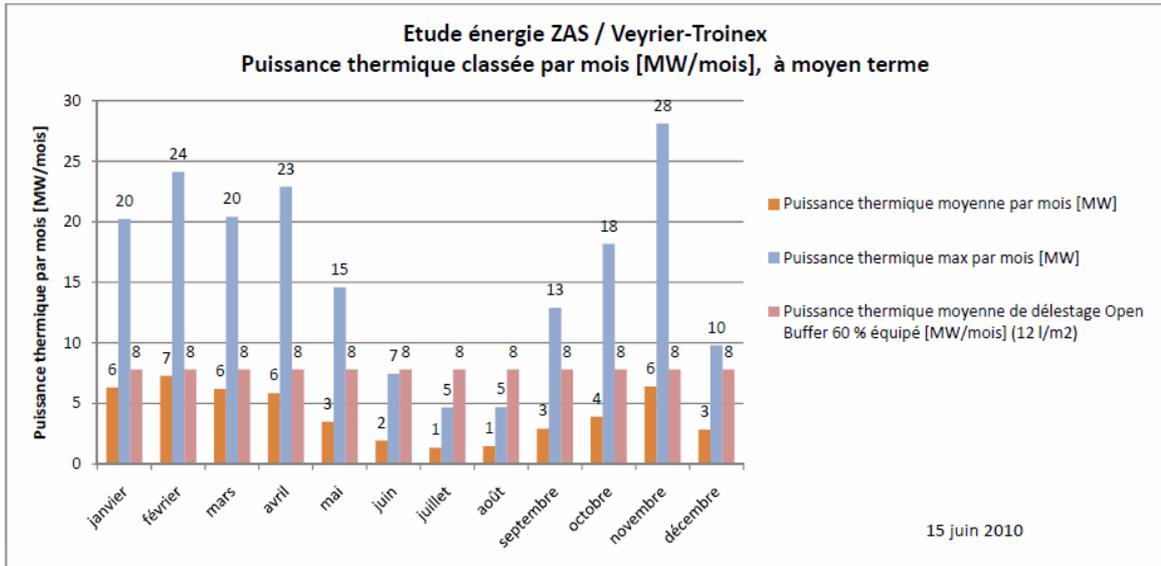


Figure 21: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme.

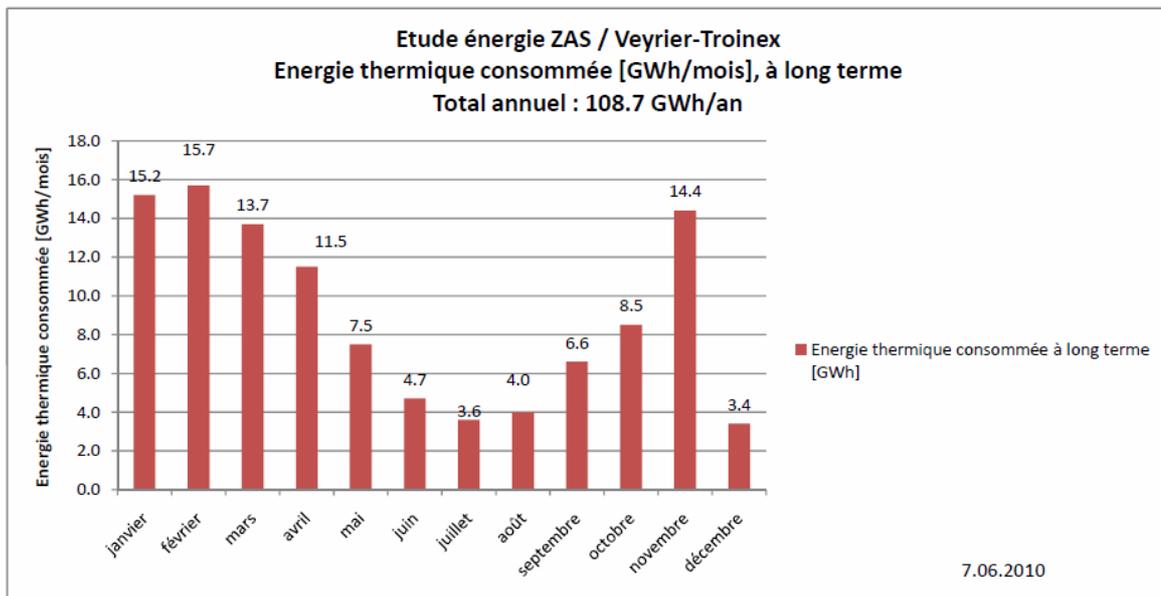


Figure 22: Energie thermique consommée par mois, à long terme

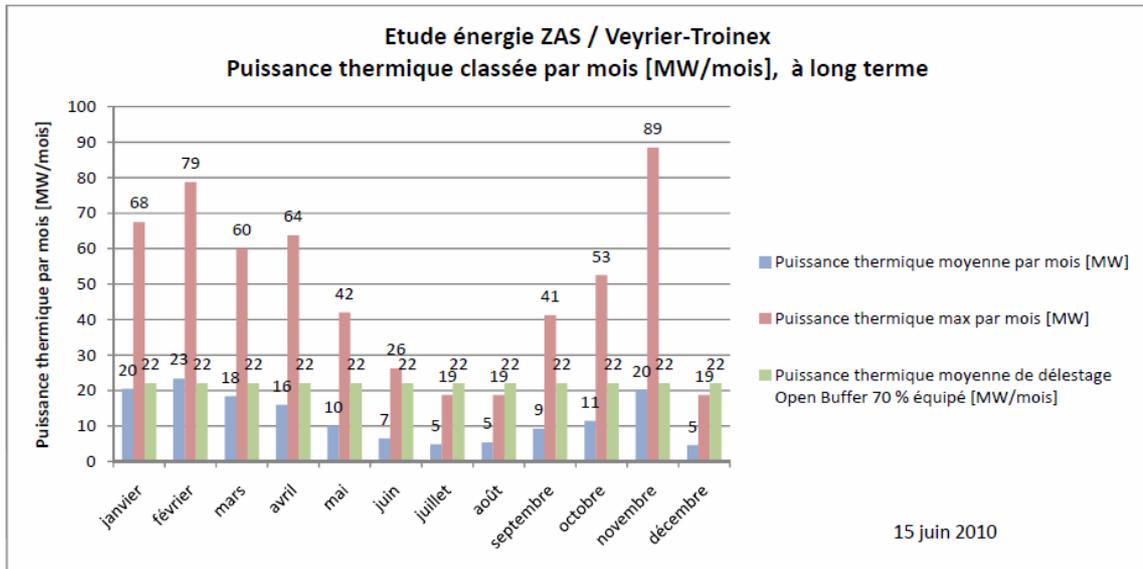


Figure 23: Puissance thermique classée par mois, à long terme

3.4.6 ZAS Bardonnex-Plan-les-Ouates

| | Surface totale serres + tunnels chauffés [m ²] | Besoin en énergie thermique [GWh/an] | Puissance de chauffage max. [MW] | Puissance de chauffage max. avec 'Open Buffer' [MW] | Consommation d'énergie électrique [GWh/an] |
|--------------------|--|--------------------------------------|----------------------------------|---|--|
| A court terme | 88'000 | 11.2 | 7 | 5 | 0.4 |
| Moyen terme (2025) | 140'000 | 20.0 | 13 | 9 | 0.7 |
| Long terme (2040) | 160'000 | 21.4 | 14 | 9 | 0.8 |

Tableau 14: Tableau de consommation d'énergie et puissance de la ZAS Bardonnex-Plan-les-Ouates (voir aussi distribution mensuelle dans graphiques annexés).

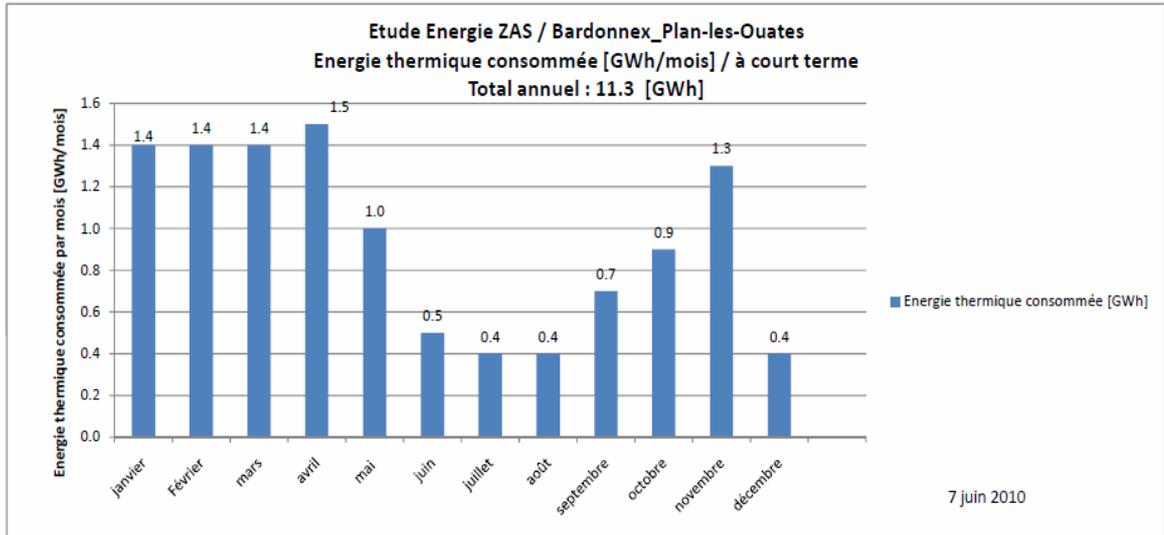


Figure 24: Energie thermique consommée par mois, à court terme.

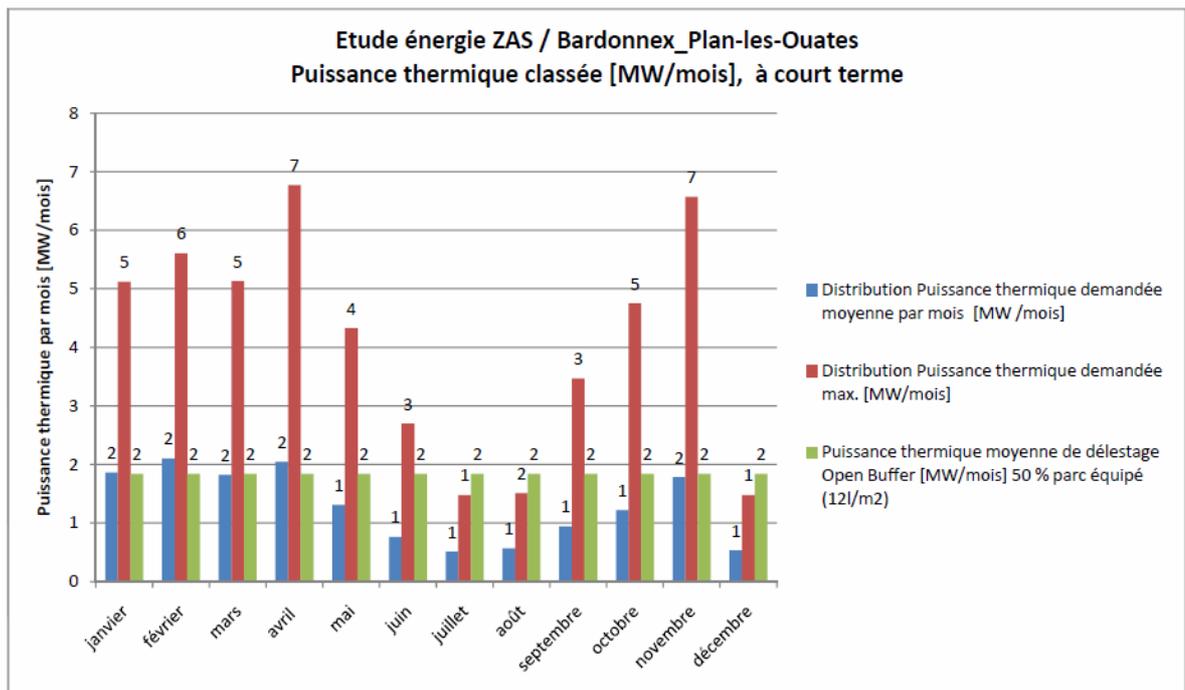


Figure 25: Puissance thermique classée par mois, à court terme.

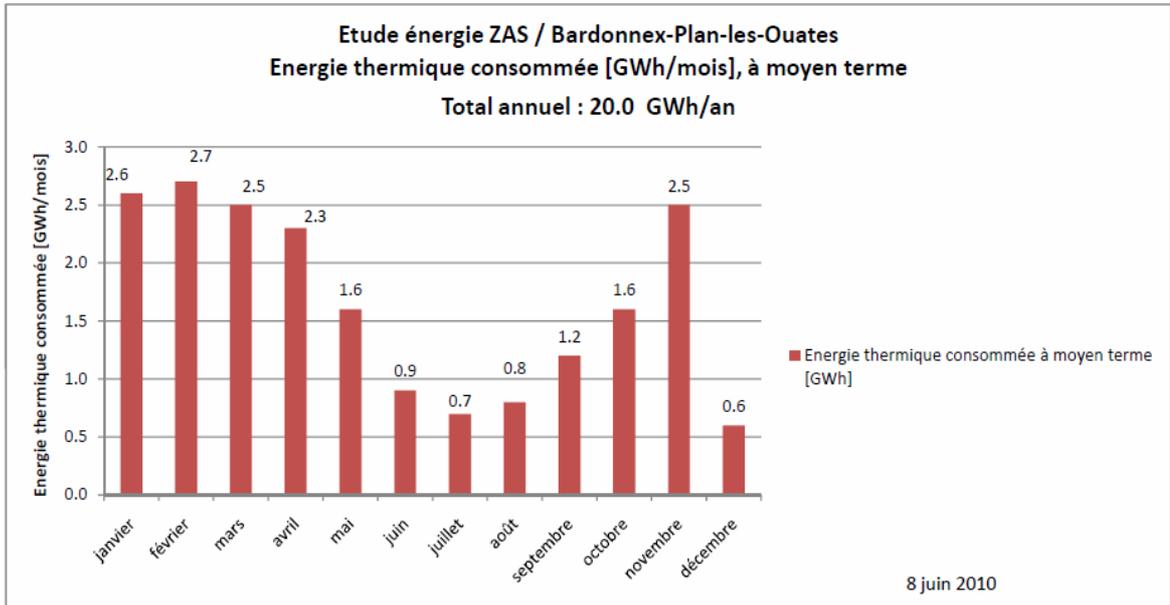


Figure 26: Energie thermique consommée par mois, à moyen terme.

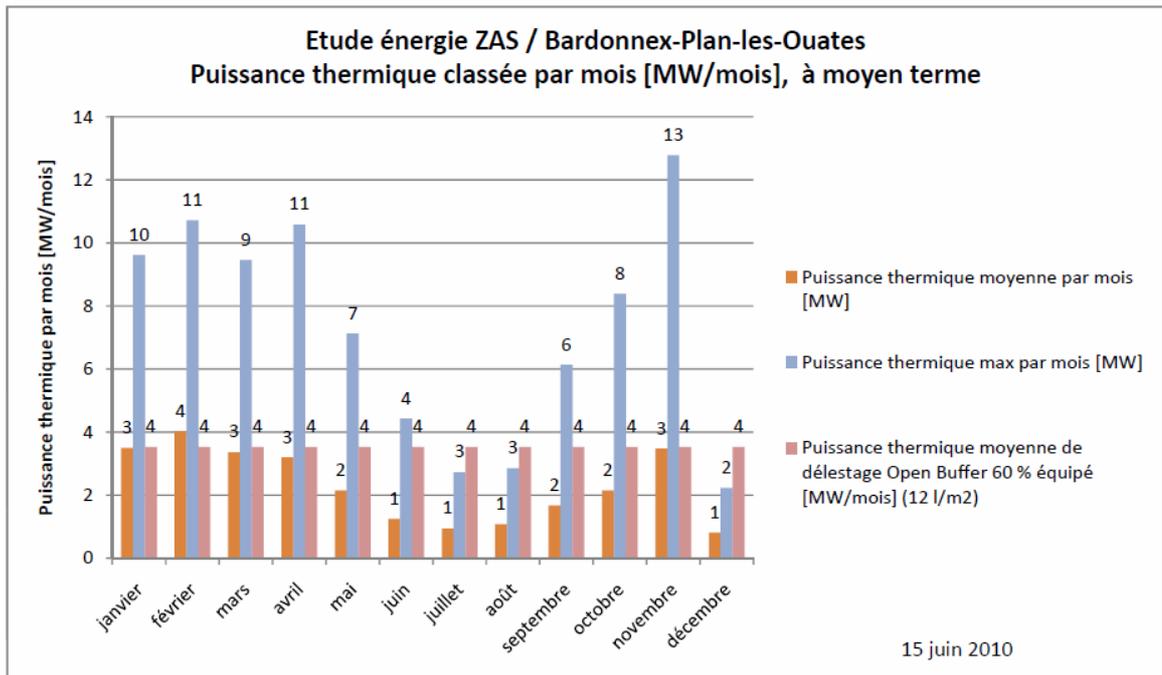


Figure 27: Puissance thermique classée par mois, à moyen terme.

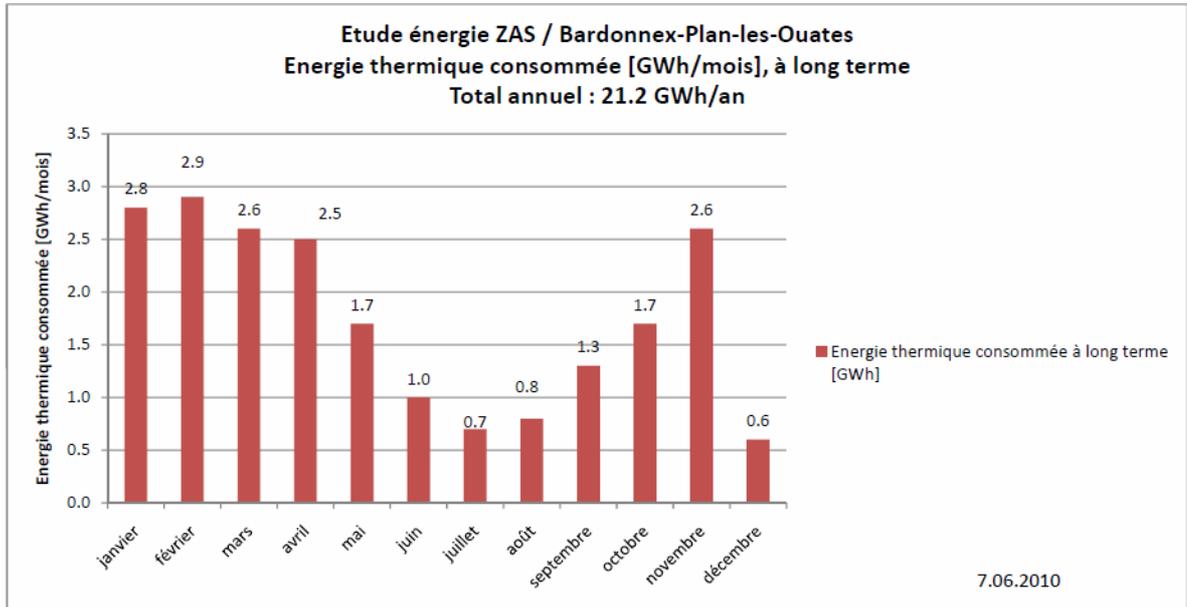


Figure 28: Energie thermique consommée par mois, à long terme.

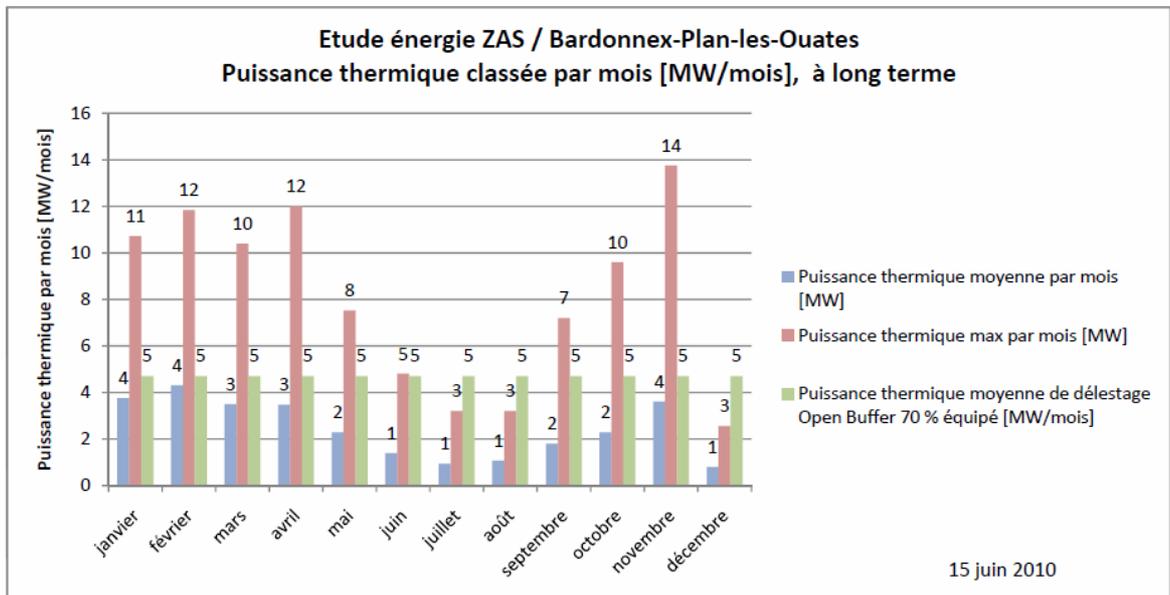


Figure 29: Puissance thermique classée par mois, à long terme.



3.4.7 Fluctuations journalières de puissance

Nous présentons ci-dessous, une évolution journalière de la demande de puissance thermique des serres. Ces courbes montrent une tendance du comportement de la demande de puissance thermique. Les calculs ont été effectués avec le programme "Hortisol", développé par HES Sion. Nous présentons pour une ZAS, Près-Genève, des extraits de profil de puissance thermique sur 3 jours et pour chaque saison, hiver, printemps, été, automne. Note: 3 jours = de 0 à 72 heures en abscisse.

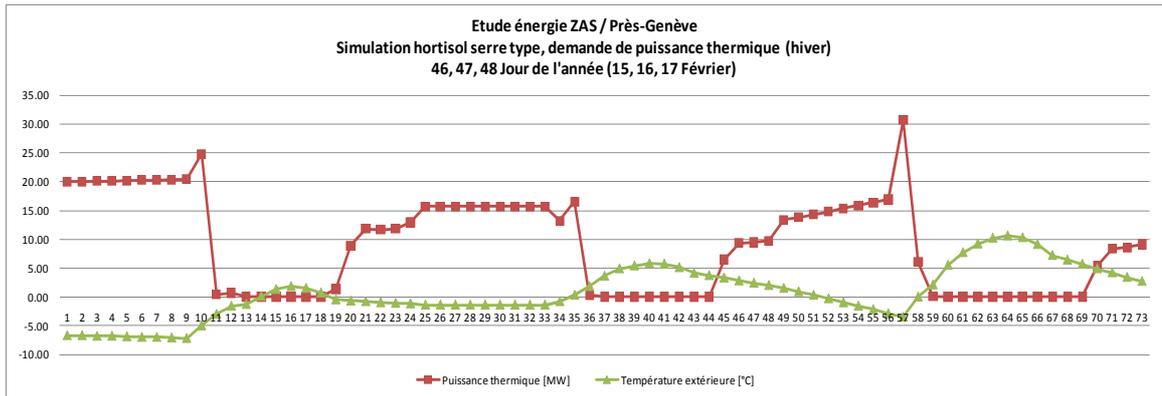


Figure 30 : Fluctuations journalières de puissance en hiver

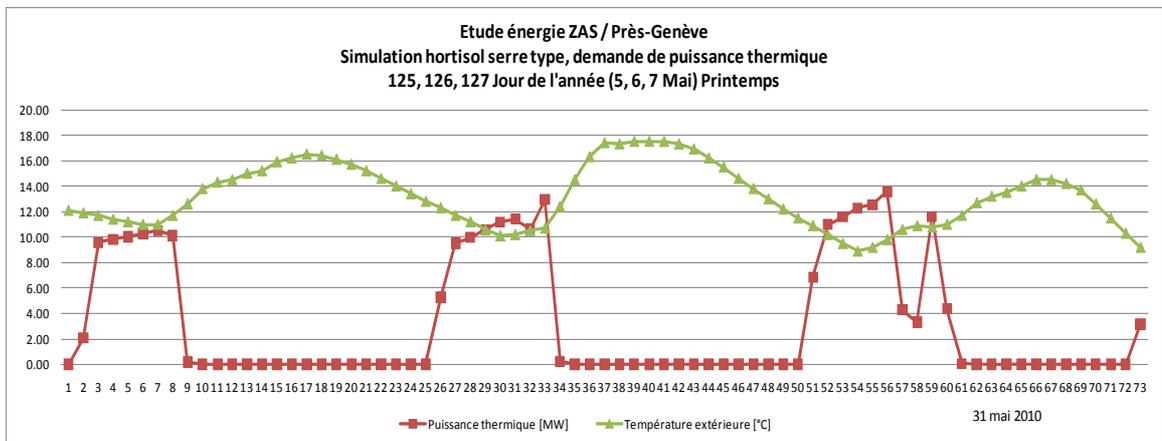


Figure 31: Fluctuations journalières de puissance au printemps.

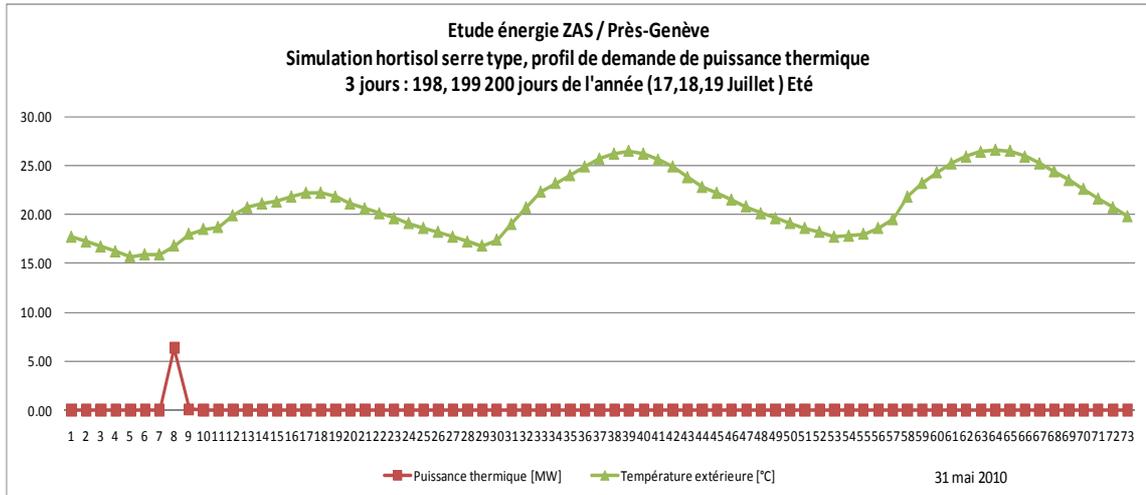


Figure 32: Fluctuations journalières de puissance en été.

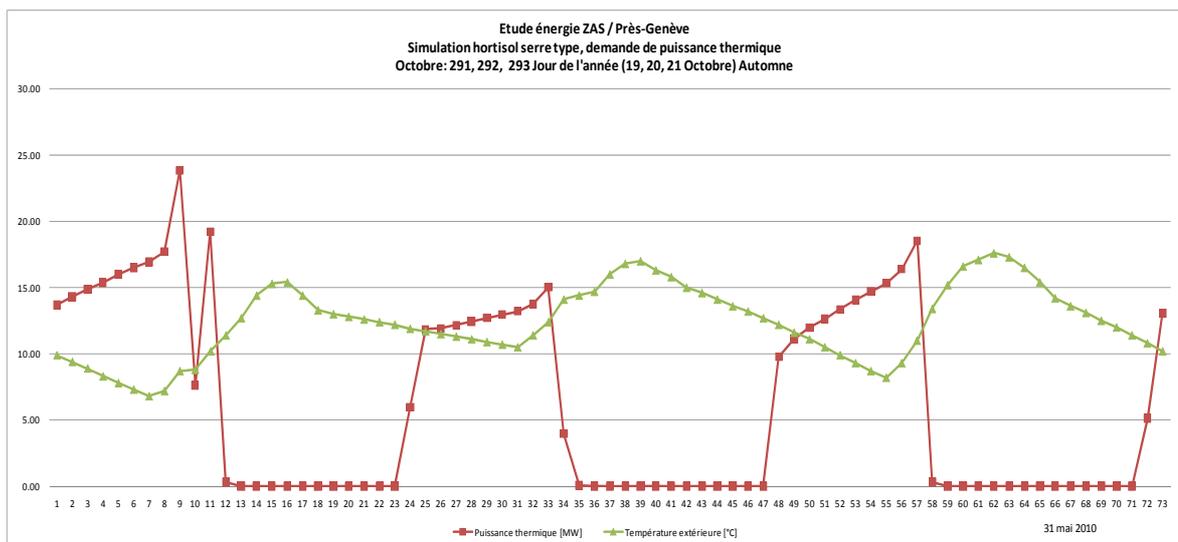


Figure 33: Fluctuations journalières de puissance en automne.

Observations :

- la journée, les besoins de puissance thermique sont faibles, même en hiver ;
- la période de chauffage est plus longue en hiver ;
- au printemps la période de chauffage est plus courte qu'en hiver et demande moins de puissance ;
- en été la période de chauffage est quasi inexistante (ou très courte) ;
- en automne la période de chauffage (nuit) est plus longue qu'au printemps et la demande puissance est plus élevée.

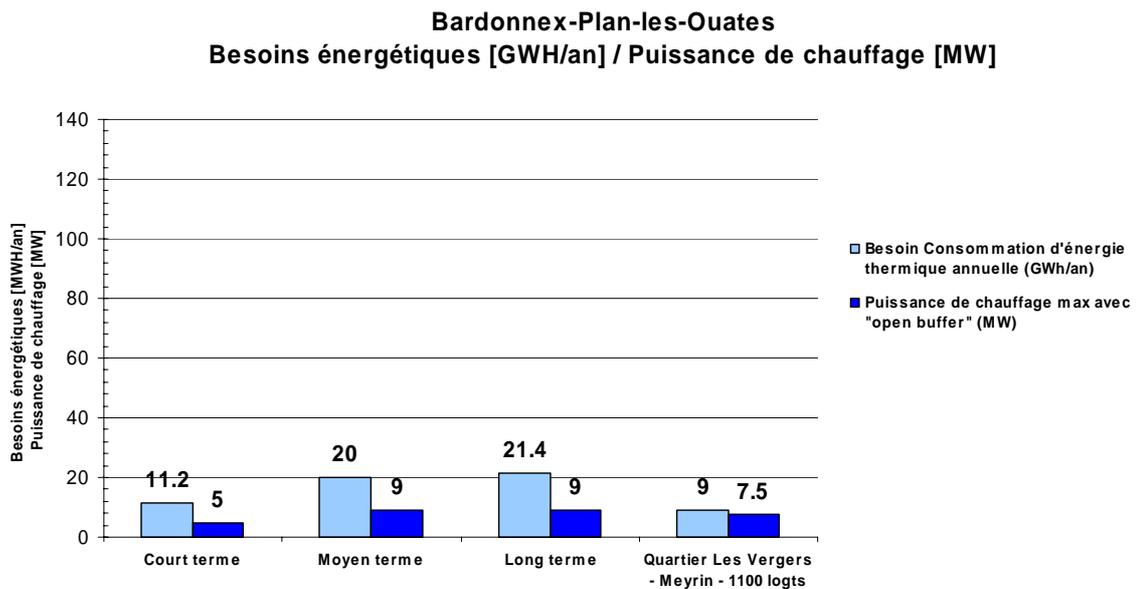


3.5 Synthèse des besoins en énergie

Nous observons que les besoins en énergie thermique et en puissance sont très conséquents, déjà pour l'état à court terme, avec des augmentations significatives pour les états futurs à moyen et à long terme comme le montrent le tableau et les graphiques présentés ci-après:

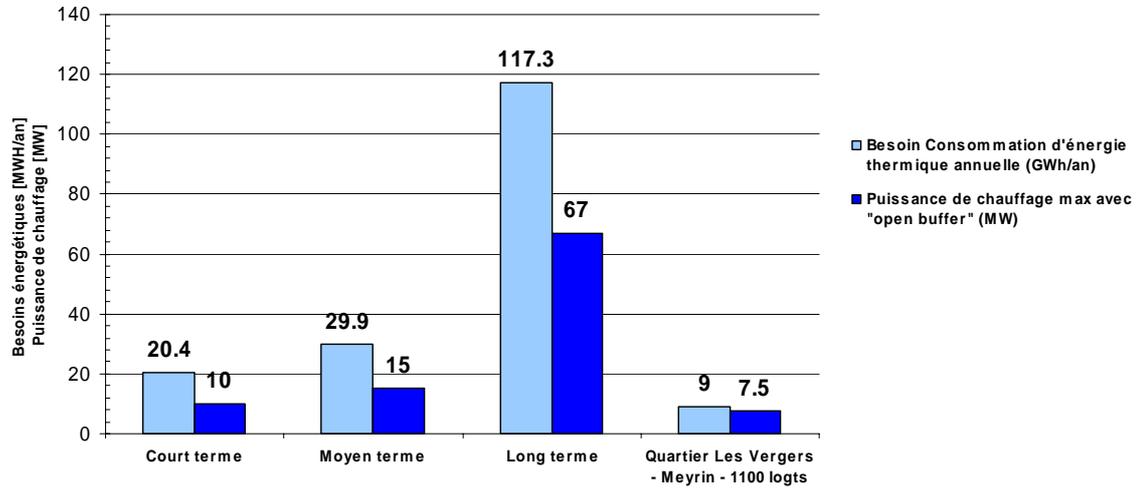
| ZAS | Energie th. [GWh/an] | Energie th. [GWh/an] | Energie th. [GWh/an] | Ecart [%] | Ecart [%] |
|-------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| | Court terme | Moyen terme | Long terme | Court – moyen terme | Moyen – long terme |
| Près-Genève | 37.9 | 46.2 | 74 | +21.9 | +60.1 |
| Plaine de l'Aire | 20.4 | 29.9 | 117.3 | +46.6 | +292 |
| Veyrier - Troinex | 29 | 36.2 | 108.6 | +24.8 | +200 |

Tableau 15: Synthèse des besoins en énergie.

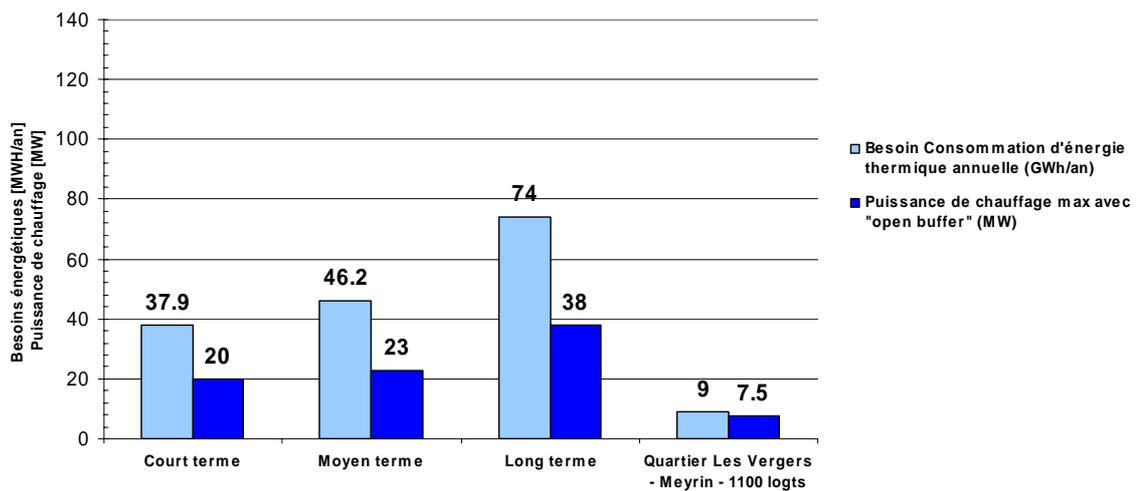




Plaine de l'Aire
Besoins énergétiques [GWh/an] / Puissance de chauffage [MW]

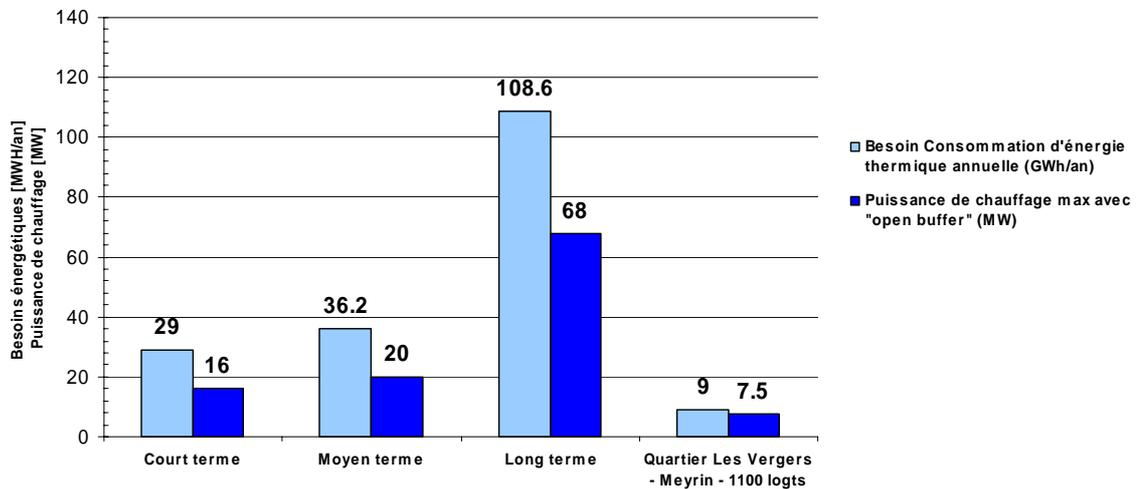


Prés-de-Genève
Besoins énergétiques [GWh/an] / Puissance de chauffage [MW]





Veyrier-Troinex Besoins énergétiques [GWh/an] / Puissance de chauffage [MW]



Afin d'appréhender concrètement l'importance des besoins en énergie thermique liés aux ZAS et à leur développement futur, les graphiques présentés ci-dessus intègrent également à titre indicatif les besoins en énergie thermique du quartier planifié des Vergers à Meyrin (1'100 logements) dont on se rend compte qu'ils sont significativement moins importants.

Les prévisions de consommation à long terme, basées sur une concrétisation de l'intégralité du potentiel de construction de serres défini par les schémas directeurs des différents périmètres semblent peu réalistes du point de vue de l'approvisionnement énergétique, ainsi que de l'offre en énergies renouvelables disponibles, qui sera abordée au chapitre suivant.

Dans le cas de chauffage des serres par des réseaux à distance, qui chauffent également des habitations, il faut tenir compte des demandes particulières de chaleur ci-dessous.

Les besoins de chauffage des serres (énergie et puissance thermique) augmentent lorsque la nuit est tombée. La journée, s'il y a du soleil, les besoins sont faibles à négligeables, même en période hivernale. Pour les habitations, la réduction de la demande de puissance due à la consigne de nuit (en général à partir de 22 h), permet de disposer de la puissance chaleur pour les serres.

Cependant, les pics de demande de puissance thermique des serres apparaissent avant le lever du jour. Ces pics apparaissent aussi à la mi-saison car ils ne sont pas seulement dus au besoin de chauffage en raison de la baisse de la température extérieure, mais également au besoin de réduire rapidement le taux d'hygrométrie, qui est souvent obtenu en ouvrant les clapets en toiture et en chauffant. Cette pointe de demande de puissance est en général de courte durée. Dès que le jour apparaît le pic de puissance disparaît. Ce profil de demande de puissance chaleur des maraîchers pourrait s'ajouter à celui de la relance matinale des bâtiments.

Les serres modernes actuelles ont un réseau hydraulique de distribution de chaleur qui est dimensionné principalement sur la haute température (80°C). Seuls les tubes de végétations sont dimensionnés sur la basse température. Une serre, dont le réseau de distribution chaleur serait dimensionné entièrement à basse température n'est pas aujourd'hui réalisable. Pour atteindre cet objectif, les constructeurs de serres doivent relever le défi de densifier plus le réseau de tuyauteries, sans réduire la luminosité dans la serre. Nous observons, qu'il est très important de fixer des exigences de qualité thermique pour la construction de nouvelles serres, qui soient en rapport au type de ressources d'énergie chaleur dont dispose la ZAS. Sinon les prévisions n'ont que peu de probabilité de se réaliser.



4. EVALUATION DE L'OFFRE EN ENERGIES DISPONIBLES

Ce chapitre expose les différentes ressources en énergie potentiellement disponibles pour l'approvisionnement en énergie des différents périmètres de ZAS.

4.1 Géothermie

A l'exception de la géothermie profonde, il n'est possible de soutirer de l'énergie des couches peu profondes des sols que via une ou plusieurs pompes à chaleur (PAC), qui élèvent le niveau de température et la rende exploitable pour une installation de chauffage. En partant de l'hypothèse d'un coefficient de performance (COP) compris entre 3 et 4 pour les PAC, la quantité d'électricité qu'il reste à fournir à l'installation reste importante. Cette électricité peut soit être issue du réseau électrique standard, soit être généré par une installation de couplage chaleur-force (CCF).

En cas de mise en œuvre d'une CCF, celle-ci devrait idéalement être alimentée à partir de combustibles renouvelables (centrale biogaz, chaudière bois, etc). Dans ce cas, une option géothermie+CCF serait ainsi très intéressante écologiquement parlant, faisable techniquement, mais relativement peu solide financièrement, en raison des investissements importants.

4.1.1 Champs de sondes verticales (SGV)

Pour les sondes géothermiques verticales, nos hypothèses de calcul partent de l'idée d'une exploitation sur 30 ans de la chaleur du sous-sol. Nous avons pris en compte des champs de sondes de 20 à 120 sondes d'une profondeur de 200 à 500 m. L'énergie disponible avec ces installations va jusqu'à 10 GWh/an pour une emprise au sol des sondes de 10 hectares. L'emprise au sol thermique est cependant bien plus grande, car les sondes sont approvisionnées par un flux énergétique tant de par le bas que de par les côtés.

En relation avec les caractéristiques hydrogéologiques et de protection des eaux souterraines, l'implantation de sondes géothermiques verticales est envisageable pour tous les périmètres ZAS, à l'exception de la partie sud du périmètre de la Plaine de l'Aire, implantée au droit de la nappe protégée du Genevois (cf. cartes présentées au chapitre 2).

En intégrant un facteur de sécurité pour tenir compte de la prise au sol thermique du champ de sonde, le potentiel énergétique se situe aux environs de 100 kWh/m², qu'il faut ramener aux 200 à 300 kWh/m².an pour les besoins en énergie des serres. Dans les scénarios calculés, la puissance disponible par les sondes géothermiques est de l'ordre de 50 à 120 W/m², alors que le besoin des serres est d'environ 100 à 200 W/m².

Dans tous les cas, un champ de sonde nécessiterait d'un apport appoint par une chaudière à gaz ou le réseau de chauffage à distance. Il faut aussi tenir compte du fait qu'un grand champ de sonde nécessite une part d'énergie électrique significative pour faire circuler le fluide dans les sondes et échanger l'énergie. A cela s'ajoute la consommation d'électricité pour faire fonctionner la pompe à chaleur.

Il est techniquement envisageable qu'une serre bénéficie de l'apport d'un champ de sondes géothermiques verticales. L'approvisionnement de l'ensemble d'une ZAS semble par contre exclu. Financièrement parlant, l'investissement pour créer le champ de sonde est très important.

4.1.2 Exploitation de nappes phréatiques

Pour les différents périmètres de ZAS considérés, seul le périmètre des Prés-de-Genève présente une nappe phréatique potentiellement exploitable, constituée par la nappe superficielle d'accompagnement de l'Aire. Compte tenu des caractéristiques hydrogéologiques de cette nappe peu profonde le débit maximal de soutirage a été évalué à environ 800 l/min. Sur cette base la puissance calorifique soutirée s'établit à environ 200 kW, correspondant à un apport d'à peine 400 MWh/an, soit nettement inférieur aux besoins d'une seule serre. La capacité de stockage saisonnière de chaleur dans cette nappe est également très limitée.



Weinmann-Energies SA

Ce type de géothermie n'est donc pas adapté à l'approvisionnement énergétique des serres.

4.1.3 Géothermie grande profondeur

La géothermie grande profondeur, qui vise à exploiter des gisements d'eau chaude présents à plus de 2 km de profondeur, présente un potentiel beaucoup plus intéressant à même de fournir de l'eau à une température directement exploitable pour l'approvisionnement en énergie thermique et électrique (turbine à vapeur). On entre cependant dans une autre problématique, plus complexe à évaluer, impliquant une campagne de prospection systématique et très conséquente. L'énergie disponible dépend de la température de la nappe et du débit soutirable.

Pour donner quelques ordres de grandeur : il existe 2 forages profonds en Suisse, équipés de sondes géothermiques verticales. Le plus profond, celui de Weggis, descend à 2300 m et permet de fournir 480 MWh/an pour une puissance de 0.2 MW. Il existe deux cas en Allemagne, à Unteraching (150 l/s à 130°C, fournissent 40 MW de puissance et environ 100 GWh/an d'énergie) et à Landau (max 70l/s à environ 150°C, qui fournissent 5 MW de puissance et 9 GWh d'énergie).

Sur le canton de Genève, le forage profond de Thônex devrait être valorisé. Il présente cependant un éloignement trop important pour être pris en considération pour l'alimentation en énergie des ZAS.

Une démarche de prospection géothermique à grande profondeur a été engagée à l'échelle de l'ensemble du bassin genevois par SIG et le SCanE. Le périmètre ZAS de Veyrier – Troinex se situe à proximité d'une zone potentiellement intéressante caractérisée par la présence de la faille du Coin.

Ce secteur, qui s'étend ensuite vers le nord en direction de La Chapelle –Les Sciers et de La Praille, devrait constituer une zone à prospecter en priorité puisqu'elle présente un potentiel géologique très prometteur associé à une forte demande en énergie actuelle et future liée aux projets d'urbanisation.

Compte tenu de l'importance des besoins en énergie liés aux ZAS et des synergies envisageables avec les zones d'habitation, l'option de la géothermie grande profondeur (GGP) constitue une solution prometteuse à considérer pour les horizons à moyen et à long termes, en particulier pour le périmètre de Veyrier-Troinex, mais également pour celui de la Plaine-de-l'Aire/Prés-de-Genève . A ces échéances, l'option GGP pourra s'insérer dans un dispositif de centrale et de réseau de chaleur transitoirement alimenté par une autre source d'énergie (p.ex. biomasse ; rejet de chaleur)

4.2 Bois

D'un point de vue énergétique, la valorisation du bois par la combustion est la filière la plus naturelle, étant donné que les options de gazéification sont moins matures au niveau de la technologie et de la mise en œuvre industrielle.

Les formes de bois disponibles sont les suivantes:

- pellets, issus des déchets de l'industrie du bois ;
- plaquettes, issus du bois de coupe et des résidus des exploitations forestières ;
- bûches.

Selon l'étude du projet VIRAGE¹, le gisement brut disponible dans l'agglomération genevoise est de 1'274 GWh/an, mais dont seulement 43 GWh serait encore mobilisable. Un triplement du pourcentage de valorisation en filière énergie plutôt que filière matière (passant de 10% à 30% pour la filière énergie) permettrait toutefois de mobiliser 90 GWh supplémentaires.

Les contraintes liées à l'exploitation du bois pour la production d'énergie sont entre-autre les suivantes:

¹ Jérôme Faessler, Rapport R5 : valorisation énergétique des biomasses, Réalisé pour le service de l'énergie du Département de la Sécurité, de la Police et de l'Environnement (DSPE) de la République et Canton de Genève, 2010.



Weinmann-Energies SA

- pour des raisons de pollution de l'air, la production de chaleur avec du bois n'est pas possible en zone à forte densité démographique ou présentant des dépassements des valeurs limites d'immissions définies par l'OPair ;
- nécessité d'organiser des filières d'approvisionnement certifiées sur le long terme ;
- génération d'un trafic potentiellement important de camions transportant le bois.

Techniquement, l'utilisation du bois pour le secteur des maraîchers devrait prendre la forme d'une chaudière à bois qui approvisionnerait un réseau de chauffage à distance local pour un groupe de serristes. En fonction du gisement disponible, le recours à l'approvisionnement en bois-énergie paraît envisageable pour un ou deux périmètres de ZAS.

Energétiquement parlant, il serait logique de combiner les installations de combustion du bois avec des couples chaleur-force (CCF). L'électricité produite permettrait de couvrir une partie des besoins des serres, voire d'en injecter une partie sur le réseau. D'un point de vue financier, ce genre d'installation est difficilement rentable sans un soutien externe.

L'utilisation du bois-déchet est traitée dans le chapitre dédié au CADIOM.

4.3 Paille

Cette filière est très similaire à celle du bois, étant donné qu'il s'agit ici de récolter la paille dans les différentes zones d'apport et de s'en servir comme combustible dans les chaudières. La technologie des chaudières à paille nécessite cependant un soin particulier pour le traitement des fumées. Le potentiel de cette filière a été évalué au niveau de l'agglomération franco-valdo-genevoise à 10'500 t/an, soit 40 GWH/an².

Une étude réalisée dans le cadre d'un projet de centrale à paille pour le quartier des Vergers à Meyrin démontre que le potentiel est intéressant, dès lors que la puissance thermique soit d'au minimum 3 MW et que le prix de la paille reste en-dessous de CHF 200.-/tonne. Ce projet n'a cependant pas été concrétisé.

La paille pourrait subvenir aux besoins énergétiques d'une partie d'une ZAS. Une telle option nécessite cependant un appoint, par exemple sous la forme d'une chaudière au bois ou au gaz. Energétiquement parlant, il serait logique de combiner les installations de combustion de la paille avec des couples chaleur-force (CCF). L'électricité produite permettrait de couvrir une partie des besoins des serres, voire d'en injecter une partie sur le réseau. D'un point de vue financier, ce genre d'installation est difficilement rentable sans un soutien externe.

4.4 Méthanisation de la biomasse

Un processus de transformation énergétique très intéressant pour les déchets organiques est la méthanisation. Par un procédé de digestion organique, on obtient un biogaz dont le pouvoir calorifique provient avant tout du méthane qui le compose à près de 55%. La quantité d'énergie produite par tonne de déchet dépend fortement de la nature et des caractéristiques des déchets (de 150 à 900 kWh par tonne de déchet).

4.4.1 Déchets agricoles organiques

Le potentiel énergétique des déchets agricoles méthanisés sur l'ensemble du canton de Genève a déjà été quantifié dans l'étude du projet VIRAGE. Les gisements bruts identifiés sont les suivants:

² Jérôme Faessler, Rapport R5 : valorisation énergétique des biomasses, Réalisé pour le service de l'énergie du Département de la Sécurité, de la Police et de l'Environnement (DSPE) de la République et Canton de Genève, 2010.



| Type de gisement | Gisement brut [GWh/an] | Gisement mobilisable [GWh/an] |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Fumiers et lisiers | 161 | 8 |
| Herbes | 749 | 0 |
| Déchets maraîchers | 2 | 1 |
| Bois (arboriculture) | 2 | 0 |
| Sarments et ceps (viticulture) | 2 | 0 |
| Total | 916 | 9 |

Tableau 16: Gisements bruts et mobilisables pour les déchets agricoles. La paille est traitée au chapitre précédent.

Une étude de faisabilité d'installations de méthanisation de la plaine de l'Aire, d'Avully et de la rive-droite a été réalisée par Engeli Engineering et BG. Au total, le projet prévoyait de traiter près de 18 tonnes de déchets par an, pour une production de 2 GWh/an d'électricité et 2.4 GWh/an de chaleur. Les prix de vente du kWh électrique se situant au-dessus de 31 ct/kWh, le seuil de rentabilité ne peut pas être atteint sans d'importantes subventions.

Une deuxième étude de faisabilité a été réalisée pour une installation de méthanisation au Château-du-Crest à Jussy. Là aussi, le prix de vente du kWh électrique est trop élevé et se situe aux alentours de 35 ct/kWh. Le projet n'a pas eu de suite.

Une installation de méthanisation qui utiliserait des déchets en provenance de tout le canton n'est cependant envisageable que si elle dépasse une certaine taille critique. Dans l'idée d'un renouvellement des installations de Châtillon, une centralisation à moyen terme des déchets méthanisables est envisageable sur ce site.

La production de déchets végétaux issus uniquement des maraîchers des trois ZAS est estimée au total à 4'100 tonnes par an (étude du projet VIRAGE). Actuellement, ces déchets sont récupérés et épandus sur les champs. Sur cette base, le potentiel énergétique via un procédé de méthanisation n'est que d'environ 1 GWh/an, ce qui ne représente qu'une toute petite partie des besoins énergie des maraîchers. L'idée de mettre en place des installations de méthanisation directement chez les producteurs ne permettrait donc pas de résoudre la problématique du chauffage des serres.

4.4.2 Déchets ménagers organiques

L'étude du projet VIRAGE quantifie le potentiel de cette filière sur le territoire de l'agglomération franco-valdo-genevoise à 12 GWh/an, soit plus de 22'000 tonnes de déchets de cuisine et de jardin.

Une étude de faisabilité³ estime que le seuil de rentabilité pour une installation de valorisation des déchets ménagers par méthanisation se situe entre 8'000 et 15'000 tonne par an. Le développement d'une telle installation ne peut ainsi être considéré que dans un cadre cantonal ou régional qui dépasserait largement le périmètre des ZAS. Dans l'agglomération genevoise, seule l'usine de Châtillon est actuellement capable de traiter les déchets organiques des ménages (env. 6 GWh/an).

Etant donné les quantités d'énergie relativement limitées, cette filière n'est pas considérée comme intéressante pour les maraîchers.

³ Haute-Savoie : département pilote pour le développement de projets d'unités de méthanisation – Etude de faisabilité - AGRESTIS Sarl – EREP SA – 2009.



4.5 UIOM Cheneviers - CADIOM

L'usine d'incinération des Cheneviers traite les déchets ménagers et assimilés du canton de Genève en valorisant l'énergie thermique pour le chauffage au moyen du réseau de chauffage à distance CADIOM. Cette valorisation énergétique sera prochainement optimisée avec l'interconnexion du réseau CADIOM à celui du CAD alimenté depuis la centrale du Lignon.

Un approvisionnement par un réseau de chauffage à distance a pour désavantage de ne pas permettre une production locale de CO₂, qui est ensuite injecté dans les serres.

4.5.1 Situation actuelle

Les 2 fours encore en fonction à l'usine des Cheneviers ont fourni 134 GWh de chaleur à des clients en 2009. Ce chiffre devrait passer à 150 GWh d'ici quelques années. La puissance disponible est au maximum de 38 MW lorsque les deux fours fonctionnent en parallèle, et de 26 MW lorsqu'il n'y en a qu'un seul en fonction. Dans la réalité, la puissance maximale peut être dépassée momentanément et si cela est vraiment nécessaire en utilisant les dispositifs d'allumage du four qui fonctionnent au gaz.

Actuellement, le réseau CADIOM est saturé la journée et en hiver, compte tenu des moyens de production actuels (les 2 fours restant aux Cheneviers). Une réserve de puissance subsiste la nuit et en été, mais il est prévu de l'utiliser au moins en partie (60 GWh/an) dans le cadre de l'interconnexion du CADIOM avec le CAD prévu pour 2011. Il est cependant envisageable que le futur réseau CADIOM-Lignon n'utilise pas la puissance disponible 100% du temps.

Le graphique ci-dessous illustre la puissance demandée en fonction de la température extérieure. Chaque point représente une journée, rouge pour le jour et bleu pour la nuit. La puissance maximale est ainsi de l'ordre de 38 MW, qui, si elle est multipliée par 7000h de fonctionnement annuel, représente environ 240 GWh d'énergie théorique disponible.

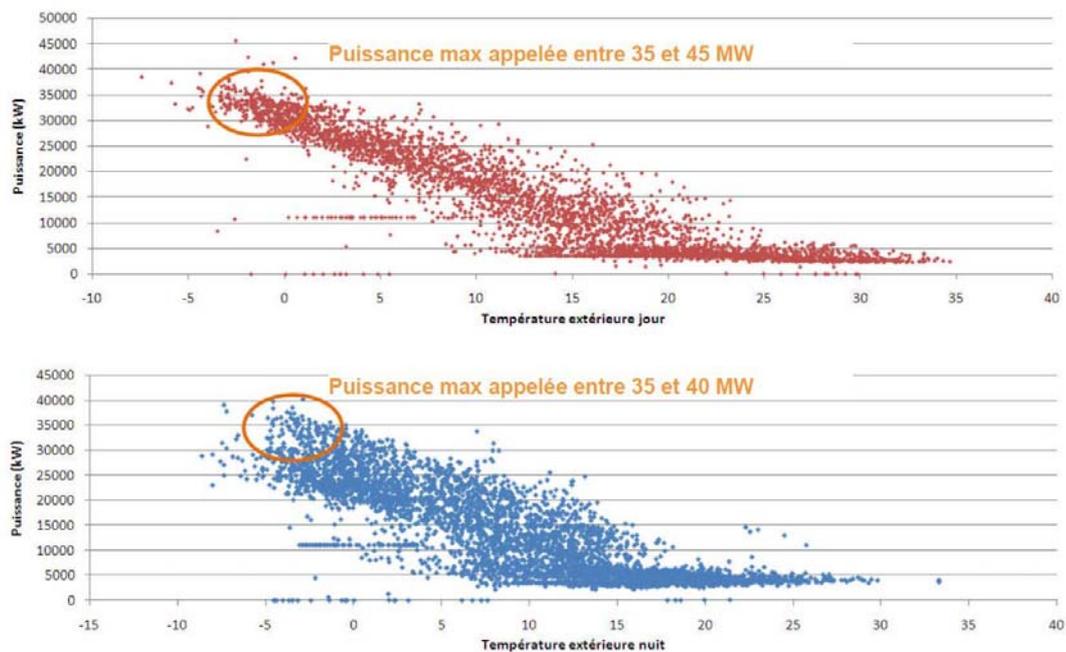


Figure 34: Puissance demandée en fonction de la température extérieure (année 2006).



4.5.2 Augmentation de la puissance du CAD

Plusieurs solutions visant à augmenter la puissance thermique (voire électrique) de l'Usine des Cheneviers sont à l'étude actuellement (une variante gaz et deux variantes renouvelables):

- Incinérateur de solvants: le potentiel serait d'environ 10 MW supplémentaires. La probabilité de réalisation est très faible et l'horizon de réalisation est d'environ 5 ans.
- Incinérateur bois-déchets: potentiel d'environ 60 GWh/an supplémentaires, c'est-à-dire environ 8 MW sur 7'000 heures/an en moyenne. L'horizon de réalisation est d'env. 5-10 ans.
- Augmentation de la capacité gaz: montée de la puissance de 20MW sur un horizon d'environ 1 à 2 ans.

L'Usine des Cheneviers arrivant en fin de vie (2015-2020), la question de la construction d'une nouvelle installation de traitement déchets, qui engloberait également le traitement des déchets verts actuellement effectué à Châtillon est posée.

Dans tous les cas, cette nouvelle unité serait de toute façon raccordée au réseau de CAD existant.

4.5.3 Potentiel CADIOM

Cette option envisage un raccordement sur le réseau actuel CADIOM. Sur la base du profil de consommation de l'année 2006 et en tenant compte de l'augmentation de la demande et de l'interconnexion prévue avec le réseau du Lignon, il est possible de calculer le potentiel d'utilisation de l'énergie pour les ZAS Prés-Genève et Plaine de l'Aire. Le graphique ci-dessous présente la puissance disponible et consommée pour ces ZAS sur une année. Le potentiel total pour les ZAS s'élève à 12-20 GWh/an selon les hypothèses de calcul, ce qui est relativement peu comparé aux besoins à court terme estimés à 60 GWh/an pour ce périmètre. De plus, la chaleur ne serait disponible que de mi-mars à fin novembre, ce qui nécessiterait d'installer un deuxième système de production de chaleur pendant l'hiver pour garantir la puissance.

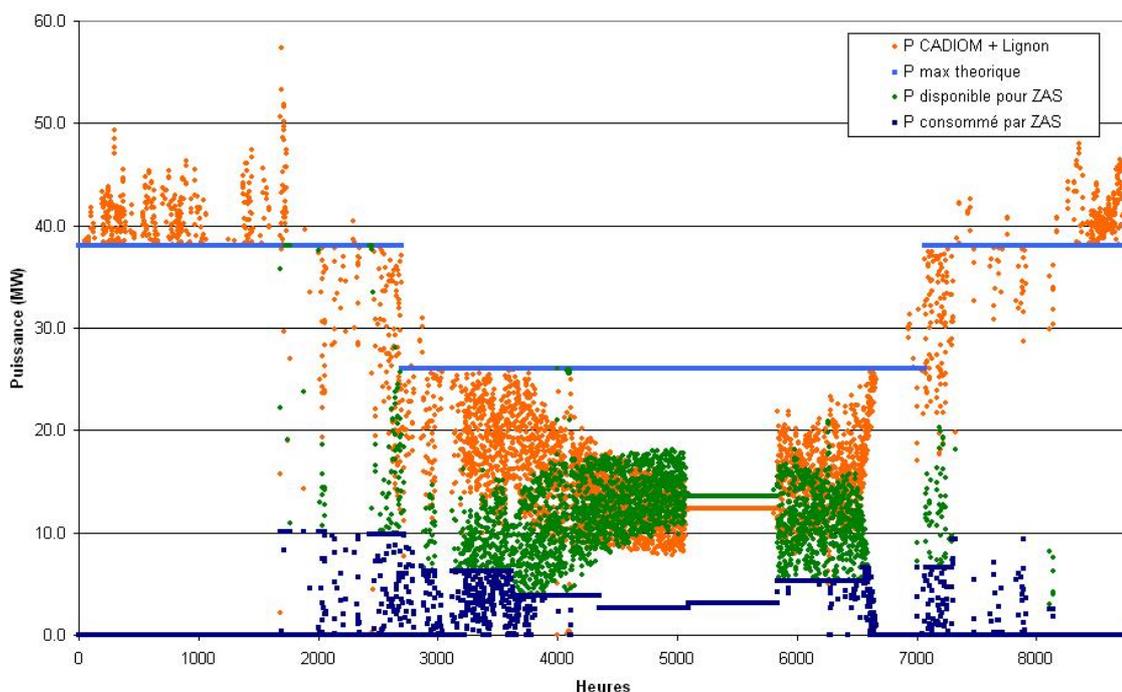


Figure 35: Puissance disponibles et consommée pour les ZAS, ainsi que pour les réseaux CADIOM et Lignon.



Weinmann-Energies SA

Les maraîchers ont souvent à disposition des accumulateurs d'eau chaude journaliers (open buffers). Ces accumulateurs permettent de décaler dans le temps le chauffage et l'injection du CO₂ issu de la combustion des chaudières dans les serres. Ces accumulateurs pourraient être utilisés dans l'optique de pomper de l'énergie du réseau à des moments bien précis pour profiter de la réserve de puissance disponible. Les accumulateurs permettraient ensuite d'étaler dans le temps (12-48h) l'utilisation de l'énergie ainsi stockée.

L'option de l'utilisation du retour des conduites CADIOM a été envisagée. Même si l'idée est intéressante en termes de niveau de température, elle ne permet pas de résoudre le problème du manque de puissance actuel du réseau.

4.5.4 Valorisation de l'énergie basse température produite par le site des Cheneviers

Actuellement, environ 230 GWh de rejets thermiques basse température sont rejetés dans le Rhône depuis l'UIOM des Cheneviers. Ces rejets ne sont pas intégrés au réseau de chauffage à distance car leur température est trop basse. Ils pourraient cependant tout à fait être utilisés dans un réseau à basse température pour le chauffage de logement et de serres.

L'utilisation des rejets à basse température nécessiterait une transformation des installations existantes qui demanderait un investissement financier conséquent. Il faudrait de plus mettre en place un réseau qui relierait la ZAS avec l'usine. Compte tenu des considérations relatives à la pérennité de l'Usine des Cheneviers in n'est pas réaliste d'envisager la réalisation de ces transformations conséquentes dans le cadre de l'usine existante.

La valorisation optimale de la chaleur « basse température » devra impérativement être intégrée à la conception de la future usine de traitement qui devrait voir le jour entre 2018 – 2025.

4.6 Rejets de chaleur

4.6.1 Rejets de chaleur industrielle

La source la plus intéressante de revalorisation des rejets de chaleur industrielle pour les maraîchers est la ZIPLO (Zone Industrielle de Plan-les-Ouates) pour le périmètre ZAS de la Plaine de l'Aire.

Pour les autres périmètres ZAS aucun rejet de chaleur industriel présentant un potentiel de valorisation suffisant n'a été identifié. Les sites industriels suivants qui n'offrent pas de potentiel énergétique suffisant ont notamment été examinés:

- Tuilerie et briqueterie Morandi à Bardonnex: le procédé de fabrication des tuiles est demandeur d'énergie et n'offre ainsi aucun potentiel réel de récupération de la chaleur.
- Technopole Archamps (France): le site accueille presque uniquement des entreprises de service dont le besoin en énergie se décompose en chaleur via une chaudière par bâtiment et en froid via des systèmes split dispersés sur l'ensemble du site. Archamps accueille aussi les productions des entreprises Baiko et Sensorex, mais dont les unités de production sont demandeuses en énergie thermique et n'offrent ainsi aucun potentiel réel de récupération de la chaleur.

La suite de ce chapitre se concentre donc sur le potentiel de rejets de chaleur de la ZIPLO.⁴

⁴ Daniel Gasser / Enercore, "Projet de récupération d'énergie dans la ZIPLO et la zone maraîchère de la plaine de l'Aire", Département du territoire, Service cantonal de l'énergie du canton de Genève, novembre 2007.



Weinmann-Energies SA

Principe de récupération

En règle générale, certaines entreprises de la ZIPLO ont des besoins en chaleur de bonne qualité thermique (>60°C = haute température) et rejettent de la chaleur de moins bonne qualité thermique (p.ex. 10-30°C = basse température). D'autres entreprises, dont les maraîchers, n'ont que des besoins en énergie et ne produisent pas de rejet.

Les rejets thermiques sont de deux ordres:

- Issus des tours de refroidissement à une température comprise entre 15°C et 25°C. Cela concerne les entreprises Laiteries Réunies (LRG), Patek Philippe, Rolex.
- Issus de rejets d'eau industrielle à une température moyenne de 20°C. Cela concerne les entreprises LRG, LEM, Patek Philippe et Rolex. Les quantités récupérables sont largement plus faibles que sur les tours de refroidissement et ne sont donc pas intéressantes pour l'alimentation de la ZAS.

Avec ces températures de rejet, l'utilisation d'une PAC pour remonter la température à des niveaux utilisables est indispensable. Un système de gestion de l'offre et de la demande devrait être mis en place, notamment en réalisant deux réseaux hydrauliques reliés par un groupe de pompes à chaleur:

- un réseau pour la récupération de la chaleur des industriels (basse température)
- un réseau pour la distribution de la chaleur aux industriels et aux maraîchers (haute température)

La disponibilité dans le temps des rejets de chaleurs est un facteur fondamental pour faire fonctionner un tel réseau. En raison de l'hétérogénéité des entreprises et de leur fonctionnement, un réservoir tampon devrait être intégré au système, permettant ainsi de garantir un approvisionnement en chaleur pendant la nuit et le week-end.

Etant donné que la gestion d'un réseau de chaleur à distance n'est pas la fonction première des industries de la ZIPLO, une structure devrait être mise en place pour l'exploitation du système de manière fiable et rentable.

Potentiel

Une série d'études concernant la revalorisation des rejets de chaleur de la ZIPLO a été établie par le bureau Enercore. Les derniers résultats de ces études sont les suivants:

- Total des rejets de Rolex, LRG, Patek Philippe et Safe Host: 28 GWh annuellement, dont 14 GWh d'octobre à avril.
- Puissance thermique maximale disponible pendant l'hiver: 1,5 MW pour LRG et 3 MW pour Rolex
- Puissance thermique du système de refroidissement de Patek Philippe: 2,5 MW
- Puissance thermique disponible chez Safe Host: 1,5 MW

La puissance réellement récupérable devrait donc s'approcher de 7 MW. En comptant les pertes sur le réseau et sur les pompes à chaleur, on considère une puissance aux alentours de 5 MW.

Projets

Dans les études réalisées par le bureau Enercore, les bénéficiaires identifiés sont les maraîchers de la plaine de l'Aire, ainsi que le périmètre à urbaniser des Cherpines.

Une étude de faisabilité est en cours concernant les Cherpines. Selon SIG, le prix de revient du kWh devrait se situer à un niveau relativement élevé, ce qui ne pose pas de problèmes insurmontables pour un quartier d'habitations qui sera labellisé Minergie et donc où les factures d'énergie devraient rester relativement limitées. Le prix devrait par contre être trop élevé pour des maraîchers, qui plus est, dans le cadre d'un projet qui comporterait un risque financier assez important. En effet, il est très difficile de garantir la pérennité des entreprises fournissant l'énergie au-delà de 3 à 5 ans, alors que l'investissement serait vraisemblablement étalé sur un minimum de 20 ans.



4.7 Valorisation de la chaleur de la STEP d'Aire

Les eaux en sortie de la STEP d'Aire ont une température variant entre 13 °C en janvier et 24 °C en août. Il est possible d'utiliser ces rejets pour faire fonctionner des pompes à chaleur qui alimenteraient un réseau basse température (p.ex. à 50°C). La quantité d'énergie disponible est importante, puisqu'elle permettrait de fournir jusqu'à 240 GWh/an et 30MW de puissance.

Cette option permettrait la valorisation d'une énergie thermique actuellement non exploitée. La consommation à basse température représente env. 60% de la consommation des serres. La construction d'un nouveau réseau basse température permettrait aussi d'approvisionner les futurs projets immobiliers situés à proximité du nouveau réseau. De plus, la sécurité d'approvisionnement à long terme semble assurée.

Cette option sera donc approfondie dans le cadre de l'étude des variantes envisageables pour les ZAS de la Plaine-de-l'Aire et des Prés-de-Genève.

4.8 Valorisation de la chaleur du réseau de collecteurs eaux usées

4.8.1 Principe de fonctionnement

Il est possible de récupérer la chaleur des eaux usées en installant des échangeurs de chaleur sur le fond des collecteurs. La température de l'eau est abaissée d'environ 2°C afin d'alimenter une pompe à chaleur. A noter que dans la mesure où de tels dispositifs devaient se généraliser, la baisse de température des eaux usées ne serait pas sans conséquence pour l'exploitation des STEP en aval, dont le rendement épuratoire diminue en fonction de la baisse de la température de l'effluent. La mise en œuvre de ce type de technologie est donc soumise à l'approbation de la Direction générale de l'eau.

4.8.2 Potentiel pour les ZAS

Un collecteur primaire amenant les eaux usées de St-Julien (env. 10'000 EH) est situé entre la rivière de l'Aire et les périmètres ZAS de la Plaine de l'Aire et des Prés-de-Genève (cf. carte présentée au chapitre 2). Son débit actuel moyen par temps sec selon simulation est de 33 l/s. Selon renseignement pris chez Kasag AG, qui est l'un des fournisseurs principaux en Suisse de cette technologie, un tel débit doit permettre de puiser env. 300 kW dans les eaux usées. Cela correspond, après passage dans une PAC à env. 1 MW de puissance de chauffe. A plus long terme, il est envisageable de pouvoir compter sur des débits plus élevés si les futurs projets d'agglomération se réalisent. La puissance de chauffe disponible serait alors de l'ordre de 2 MW.

Les débits d'eau n'étant pas constants, une conception optimale du système de régulation et un dimensionnement correct des open buffers du côté des maraîchers devrait permettre de récupérer l'énergie des eaux usées aux moments où les débits et les températures sont les plus favorables. L'énergie disponible est évaluée à 5 GWh actuellement et à 10 GWh sur le long terme. Ces puissances et énergie disponibles ne sont pas suffisantes pour l'alimentation d'une ZAS entière, mais constituent un apport non négligeable qui pourrait alimenter au moins un maraîcher.

Financièrement parlant, l'entreprise Kasag prétend pouvoir fournir une installation complète dont le prix de l'énergie serait d'env. 12 ct/kWh. Ce tarif doit être comparé au tarif spécial de 5.75 ct/kWh de gaz actuellement facturé aux maraîchers. En l'état, cette technologie n'est pas compétitive sans un soutien financier externe important.

Le potentiel de récupération de cette technologie n'est donc envisageable qu'à moyen ou long terme et à une relativement petite échelle.



Weinmann-Energies SA

4.9 Approvisionnement en gaz

Les différentes options d'approvisionnement considérées ci-avant sont à mettre en perspective avec l'option d'alimentation en gaz à partir du réseau SIG qui constitue la source d'alimentation en énergie des serres la plus généralisée actuellement.

Les périmètres de la Plaine de l'Aire et des Prés-de-Genève sont actuellement déjà raccordés au réseau gaz des SIG. Le raccordement du périmètre de Veyrier – Troinex pourra être assuré sans problèmes particulier à partir du réseau actuel qui dessert les quartiers de villa à environ 1 km au nord.

Avec le tarif spécifique pratiqué, le gaz est actuellement facturé 5.75 ct par kWh auquel il faut rajouter le coût lié à l'amortissement et à l'exploitation des chaudières.

L'alimentation en gaz permet en outre d'injecter directement le CO₂ produit dans les serres afin de stimuler la photosynthèse (augmentation de l'ordre de 7% de la production).

En relation avec le tarissement planifié des ressources en gaz et de la forte dépendance vis-à-vis de l'étranger, des augmentations significatives du prix du gaz sont à considérer pour les échéances à moyen et long terme.

Les sources d'approvisionnement alternatives présentées dans ce rapport sont à considérer dans cette perspective, afin de garantir un approvisionnement en énergie durable du point de vue économique et environnemental.



4.10 Synthèse des options

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif des options d’approvisionnement considérées pour l’approvisionnement énergétique des ZAS.

| Filière | Energie disponible | | Puissance disponible max | Remarques |
|--|--------------------|---------------------|--------------------------|---|
| | court terme GWh | long terme GWh | court terme MW | |
| Géothermie: champs de sondes verticales | 70 | 200 | 100 | Densité énergétique insuffisante- Envisageable localement mais pas à l'échelle d'un périmètre ZAS. |
| Géothermie: nappe phréatique (Prés-de-Genève) | 0.4 | 0.4 | 0.2 | Potentiel trop faible |
| Géothermie profonde | non mobilisable | potentiel important | inconnu | Potentiel intéressant à long terme, doit être précisé |
| Bois | 43 | <43 | 10-15 | Potentiel existant mais limité; possible pour alimenter partiellement 1 à 2 périmètres ZAS |
| Paille | 40 | 40 | 10-15 | Peu intéressant financièrement |
| Méthanisation des déchets agricoles | 9 | 9 | 2-3 | Gisement insuffisant, peu intéressant financièrement |
| Méthanisation des déchets ménagers | 12 | 12 | 3 | Implique une installation dimensionnée à l'échelle cantonale non planifiée à proximité des ZAS |
| CADIOM | 12-20 | 50-80 | 10 | Potentiel existant |
| Rejets BT « Cheneviers » et future UIOM | 0 | 200 | 20 | Potentiel existant à long terme |
| Rejets de chaleur industrielle (ZIPLO – Pl. de l'Aire) | 40 | <40 | 5 | Peu intéressant financièrement, manque de garantie à long terme |
| Rejets STEP d'Aïre | >200 | >200 | 30 | Potentiel existant |
| Rejets de chaleur des eaux usées | 5 | 10 | 2 | Potentiel limité – éventuellement intéressant à l'échelle d'une exploitation |

Tableau 17: Récapitulatif des variantes étudiées pour l'approvisionnement des ZAS.

De cette étude, il en ressort trois gisements énergétiques potentiels, et qui seront analysées de manière plus détaillées pour l'élaboration des variantes dans la suite de cette étude:

- **Bois:** construction d'une centrale thermique avec ou sans couple chaleur-force (CCF) alimenté par plaquettes ou pellet de bois
- **CADIOM:** raccordement au réseau CADIOM HT
- **STEP d'Aïre:** utilisation du potentiel thermique issu des eaux en sortie de la STEP



5. CARACTERISATION DES VARIANTES

Les sources d'approvisionnement retenues au chapitre précédent ont des caractéristiques qui facilitent ou excluent leur mise en œuvre compte tenu de l'implantation géographique des différents périmètres ZAS. Concrètement, l'analyse qui suit distinguera la ZAS de Veyrier-Troinex d'une part, et les ZAS Prés-de-Genève et Plaine de l'Aire d'autre part. Ces deux dernières ZAS étant considérées comme un tout en raison de leur proximité géographique.

- **ZAS de Veyrier-Troinex:** en raison de son éloignement des réseaux de chauffage à distance, seul un approvisionnement par combustible de type bois, gaz ou mazout est envisageable à court terme. Étant donné que l'exploitation Verdonnet utilise déjà le bois pour alimenter sa chaudière, et que cette dernière doit être remplacée rapidement pour des questions de mise en conformité selon l'OPair, la variante retenue propose une chaudière avec CCF et complément avec chaudières à gaz.

En fonction des résultats de la démarche spécifique engagée par SIG et le SCanE, l'option d'un approvisionnement au moyen de la géothermie grande profondeur doit être considérer dans une perspective à moyen/long terme.

- **ZAS Prés-de-Genève et Plaine de l'Aire:** pour des raisons géographiques, les variantes retenues pour ces ZAS sont un raccordement au CADIOM d'une part et l'utilisation des rejets thermiques de la STEP d'Aire d'autre part. Pour chacune de ces variantes, un complément de puissance par chaudière à gaz sera nécessaire.

5.1 Variantes pour les ZAS Plaine de l'Aire et Prés-de-Genève

5.1.1 Raccordement au réseau CADIOM

Raccordement au réseau à haute température CADIOM. Des chaudières à gaz sont prévues dans les sous-stations pour appoint, secours et production de CO₂.

5.1.1.1 DESCRIPTION GENERALE

Un réseau de distribution chaleur haute température apporte de l'énergie thermique vers la ZAS Prés-Genève (Lully) depuis la conduite à distance de CADIOM à Bernex. La longueur du réseau jusqu' en limite de ZAS Prés-Genève est de 3.1 km, pour un débit nominal de l'ordre de 1370 m³/h.

Les besoins en chauffage des maraîchers sont importants lorsque la nuit est tombée. Ils sont moins importants la journée, particulièrement lorsque celle-ci est ensoleillée, même en hiver. Pour le chauffage des bâtiments, qui sont actuellement les principaux clients du réseau CADIOM, le profil des besoins de chauffage a une tendance inversée. Cette situation permet de pouvoir utiliser l'excédent de puissance de chauffage la nuit pour les maraîchers, même si la journée toute la puissance du réseau est utilisée pour le chauffage des bâtiments. Ceci est réalisable du printemps à l'automne.

La mise en place de centrales à gaz communes par groupes de maraîchers voisins sera nécessaire afin d'optimiser leur besoin en appoint de chaleur et en CO₂. Les apports énergétiques en gaz et via le réseau CADIOM sont les suivants:

| Besoins total des ZAS | Apport sous forme de gaz naturel | Apport par CADIOM |
|-----------------------|----------------------------------|-------------------|
| 65 GWh | 53 GWh | 12 GWh |



5.1.1.2 JUSTIFICATION

- Raccordement sur un réseau à haute température (110°C) pour une utilisation dans le réseau des serres qui, techniquement, fonctionne en grande partie à haute température. En effet, il n'est pas possible de chauffer des serres, même les plus performantes, uniquement par un réseau basse température.
- Utilisation de la chaleur résiduelle qui ne serait pas consommée par le réseau. La chaleur serait disponible de mi-mars à novembre pour un total d'env. 12 GWh, ce qui représente env. 15% de l'énergie nécessaire à moyen terme pour les 2 ZAS.
- Cette variante permet de valoriser une source d'énergie renouvelable, c'est-à-dire l'incinération des déchets ménagers, qui ne serait sinon pas utilisée. La sécurité à long terme et la stabilité des coûts semblent assurées. La construction d'une nouvelle usine de traitement des déchets à l'horizon 2018-2015 devrait permettre une augmentation de l'appoint CADIOM.
- Sur le long terme, les serristes devraient être des bénéficiaires privilégiés du réseau CADIOM par rapport aux projets immobiliers. En effet, les habitations et immeubles administratifs vont progressivement basculer sur des régimes à basse température. Stratégiquement, il serait donc préférable que les consommateurs, comme les serristes qui n'ont pas d'alternative 100% renouvelable à basse température, bénéficient de manière prioritaire de cette ressource.

5.1.1.3 INSTALLATIONS A PREVOIR A L'INTERIEUR DES PERIMETRES DES ZAS

Réseau haute température

Depuis la limite de la ZAS Près-Genève (Lully), le réseau à haute température se poursuit vers les maraîchers des ZAS Près-Genève et Plaine de l'Aire. Celui-ci a une longueur de 3.3 km et comporte 7 sous-stations (1 par maraîcher + 1 réserve). La carte ci-après illustre l'implantation réseaux et les autres installations nécessaires à cette variante.

Centrales de production de chaleur d'appoint et de sécurité

Des centrales de production de chaleur au gaz d'appoint et de sécurité sont prévues: 3 centrales communes à 2 maraîchers voisins. Les chaudières à gaz disposées dans ces centrales communes couvrent toute la puissance thermique nécessaire, en cas de panne sur le réseau haute température provenant de l'extension CADIOM, ainsi que l'appoint. La puissance thermique globale fournie est de 32 MW.

| | | | |
|--------------------------|---------|-----------|-------|
| Centrale 1 | Magnin | Jaquenoud | Total |
| Puissance thermique [MW] | 5.7 | 13.5 | 19.2 |
| Centrale 2 | Blondin | Janin | Total |
| Puissance thermique [MW] | 3.7 | 3.4 | 7.1 |
| Centrale 3 | Vidonne | Nouveau | Total |
| Puissance thermique [MW] | 1.5 | 4.2 | 5.7 |

Tableau 18: Puissances thermiques nécessaires pour la variante CADIOM.

Ces centrales comportent :

- Les chaudières à gaz d'appoint et sécurité => Puissance thermique totale 32 MW
- Les sous-stations du réseau à haute température, 1 par maraîcher + 1 réserve. (7 sous-stations)

La distribution hydraulique et le collecteur de départ pour les conduites d'eau de chauffage vers les serres et Open Buffer.

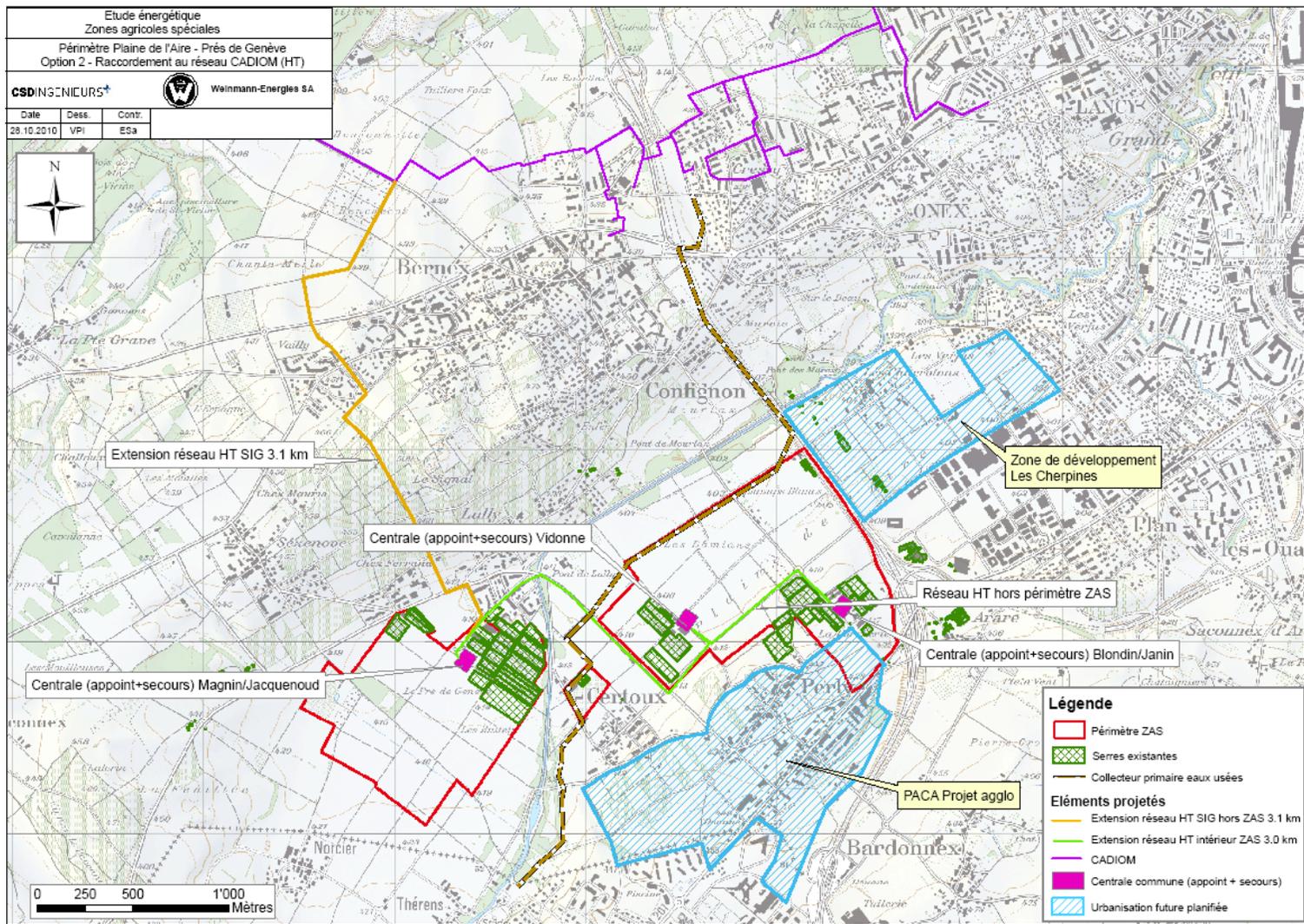


Figure 36 : Situation générale – ZAS Prés-de-Genève et Plaine de l'Aire – Variante CADIOM.

**Réseaux de distribution vers les serres**

Depuis la centrale commune, un réseau chaleur local vers les serres devra être réalisé pour chaque maraîcher, ainsi qu'un réseau de gaines de gaz de combustion (alimentation CO₂ des serres). Il est important que ces centrales communes soient disposées auprès des nouvelles serres, qui ont la plus grande demande d'énergie chaleur et de CO₂.

La longueur estimée globale des tronçons de réseau local à chaque centrale est de 1300 m. La longueur estimée des tronçons de réseau local de gaines aériennes pour alimenter les serres en gaz de combustion est de 1800 m.

Le réseau de gaines sera équipé de clapets de réglage, air neuf et gaz de combustion, de ventilateurs de pulsion et de clapets d'isolement. Pour cela il est supposé que les chaudières à gaz aient un récupérateur de chaleur, pour abaisser la température des gaz en dessous du point de rosée.

5.1.1.4 EQUIPEMENTS DES MARAÎCHERS

Le volume des Open Buffer à construire a été déterminé en référence à la nouvelle surface de serres à créer jusqu'à moyen terme: 260'000 m². Nous considérons cependant que 60 % des serres sont concernées par l'utilisation d'un open buffer, ce qui correspond à 156'000 m². Le volume de cuve de stockage nécessaire est de 200 m³/ha selon dimensionnement de serres en projet actuellement. Le volume d'open buffer considéré est donc de 3'120 m³ à moyen terme

Divers travaux d'adaptation de la distribution de chauffage des serres pour le raccordement au réseau de chauffage provenant de la centrale commune des maraîchers seront nécessaires, ou éventuellement l'adaptation du réseau de chauffage de certaines serres.

5.1.1.5 COÛTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION

Le tableau ci-dessous présente la liste des investissements nécessaires pour la mise en place d'un approvisionnement par le réseau CADIOM et des centrales d'appoints au gaz.

| Poste | Prix unitaire | Quantité | Montant CHF HT | Amortissement années |
|---|-------------------------|----------------------|----------------|-----------------------------------|
| 1. Réseau hors périmètre ZAS | | | | |
| Extension réseau CADIOM (à la charge des SIG) | 3'000 CHF/ml | 3'100 m | 9'300'000 | Inclus dans prix SIG ⁵ |
| 2. Centrales de production communes | | | | |
| Chaudières à gaz pour appoint, sécurité | 50 CHF/kWh | 32 MW | 1'600'000 | 20 |
| Distribution, MCR, électricité, sanitaire | 84 CHF/kWh | 32 MW | 2'700'000 | 20 |
| Génie civil | 600 CHF /m ³ | 1'330 m ³ | 800'000 | 50 |
| 3. Réseau intérieur périmètre | | | | |
| Réseau interne HT sur la ZAS | 2'300 CHF/ml | 3'300 m | 7'600'000 | 30 |
| Réseau interne HT depuis centrales gaz | 2'300 CHF/ml | 1'300 m | 3'000'000 | 30 |
| 4. Echangeurs - sous-stations | | | | |
| Sous-station BT | 130'000/unité | 7 | 900'000 | 30 |

⁵ Non amorti, car inclus dans prix de vente de l'énergie des SIG



| 5. Installations/équipements | | | | |
|---|------------|----------------------|-------------------|----|
| Réseau gaine pour distribution CO2 | 400 CHF/ml | 1'800 m | 700'000 | 20 |
| Open Buffer | 300 CHF/m3 | 3'120 m ³ | 940'000 | 20 |
| Adaptations réseaux hydrauliques | - | - | 2'000'000 | 20 |
| 6. Subventions à l'investissement | | | | |
| Réseau (canton) | | | -480'000 | |
| 7. Total des investissements | | | | |
| SIG | | | 9'300'000 | |
| Investissements collectifs maraîchers | | | 17'010'000 | |
| Investissements individuels maraîchers | | | 2'940'000 | |
| Total des investissements | | | 29'060'000 | |

Tableau 19 : Investissements pour la variante CADIOM.

Le tableau ci-dessous présente les coûts d'exploitation et le prix estimé de l'énergie pour la variante CADIOM.

| | | SIG | Maraîchers | Total |
|---|---------------|----------------|-------------------|------------------|
| Besoins en chaleur | GWh/an | 12 | 53 | 65 |
| Charges annuelles pour investissement après subventions et avec intérêt de 5% | CHF/an | - | 1521'000 | 1'521'000 |
| Achat d'énergie gaz (53 GWh à 6 ct/kWh) | CHF/an | - | 3'693'000 | 3'693'000 |
| Achat d'énergie CADIOM SIG (12 GWh à 7 ct/kWh) | CHF/an | 907'000 | - | 907'000 |
| Achat d'électricité (21 ct /kWh) | CHF/an | - | 429'000 | 429'000 |
| Exploitation et maintenance | CHF/an | - | 530'000 | 530'000 |
| Remboursement taxe CO ₂ AEnEC (36 CHF/ t CO ₂) | CHF/an | - | -445'000 | -445'000 |
| Total, CHF TTC | CHF/an | 907'000 | 5'728'000 | 6'635'000 |
| Prix du kWh TTC | ct/kWh | 7.5 | | 10.2 |

Tableau 3: Coûts d'exploitation et prix de l'énergie pour la variante CADIOM.

5.1.1.6 SYNTHÈSE ET EVALUATION DE LA VARIANTE

La chaleur fournie par l'extension du réseau CADIOM, correspond à une source de chaleur à haute température qui répond de manière idéale au concept des nouvelles serres à court et moyen terme.

Vu l'importance du réseau CADIOM, la pérennité de l'alimentation de ce dernier semble assurée dans le cadre de la réalisation de la nouvelle usine de traitement des déchets qui devrait remplacer l'usine d'incinération actuelle de Cheneviers entre 2018 et 2025.

Le raccordement au CADIOM n'assure qu'un peu moins de 12 GWh des besoins en énergie des 2 ZAS de la Plaine de l'Aire et des prés de Genève à court terme.

Cet apport peut néanmoins être considéré comme significatif et la pertinence économique de cette variante est renforcée dans le cas d'une augmentation du prix du gaz par rapport à la situation actuelle, même de faible ampleur. Le prix global de l'alimentation en énergie depuis le réseau de gaz, y compris frais d'amortissement et d'exploitation des installations et des chaudières s'établit à titre de comparaison à environ 10 ct/kWh.



5.1.1.7 VARIANTE STEP D'AÏRE

Utilisation des rejets thermiques de la STEP d'Aïre. Une centrale de pompes à chaleur permet de créer un réseau à basse température pour les ZAS. Des chaudières à gaz sont prévues dans les sous-stations pour appoint, secours et production de CO₂.

5.1.1.8 DESCRIPTION GÉNÉRALE

Cette variante est basée sur la valorisation de l'énergie thermique renouvelable contenue dans les eaux en sortie de la STEP d'Aïre, par des pompes à chaleur et une distribution par réseau basse température à 50 °C. L'eau rejetée par la STEP de l'Aïre a une température variant entre 13 °C en janvier et 24 °C en août. Une pompe à chaleur peut aisément produire de l'eau jusqu'à 55°C avec un COP de 3 à 4, à partir de l'eau rejetée par la STEP.

Le débit d'eau moyen est de 150'000 m³/jour, avec une variation comprise entre 90'000 à 250'000 m³/jour, ce qui correspond à une variation de puissance thermique produite par les PAC de 15 à 30 MW.

La mise en place de centrales à gaz communes par groupes de maraîchers voisins sera nécessaire afin d'optimiser leur besoin en appoint de chaleur et en CO₂.

Cette variante permet d'exploiter une énergie thermique actuellement non valorisée. La consommation à basse température représente env. 60% de la consommation des serres. La sécurité et la stabilité des coûts à long terme semblent assurées.

La construction d'un nouveau réseau basse température à partir de la STEP d'Aïre en direction d'Onex/Bernex puis de la Plaine de l'Aire/Plan-les-Ouates permettrait également d'approvisionner les futurs quartiers à urbaniser planifiés dans ces secteurs.

Le plan de situation générale de cette variante est présenté à la page suivante.

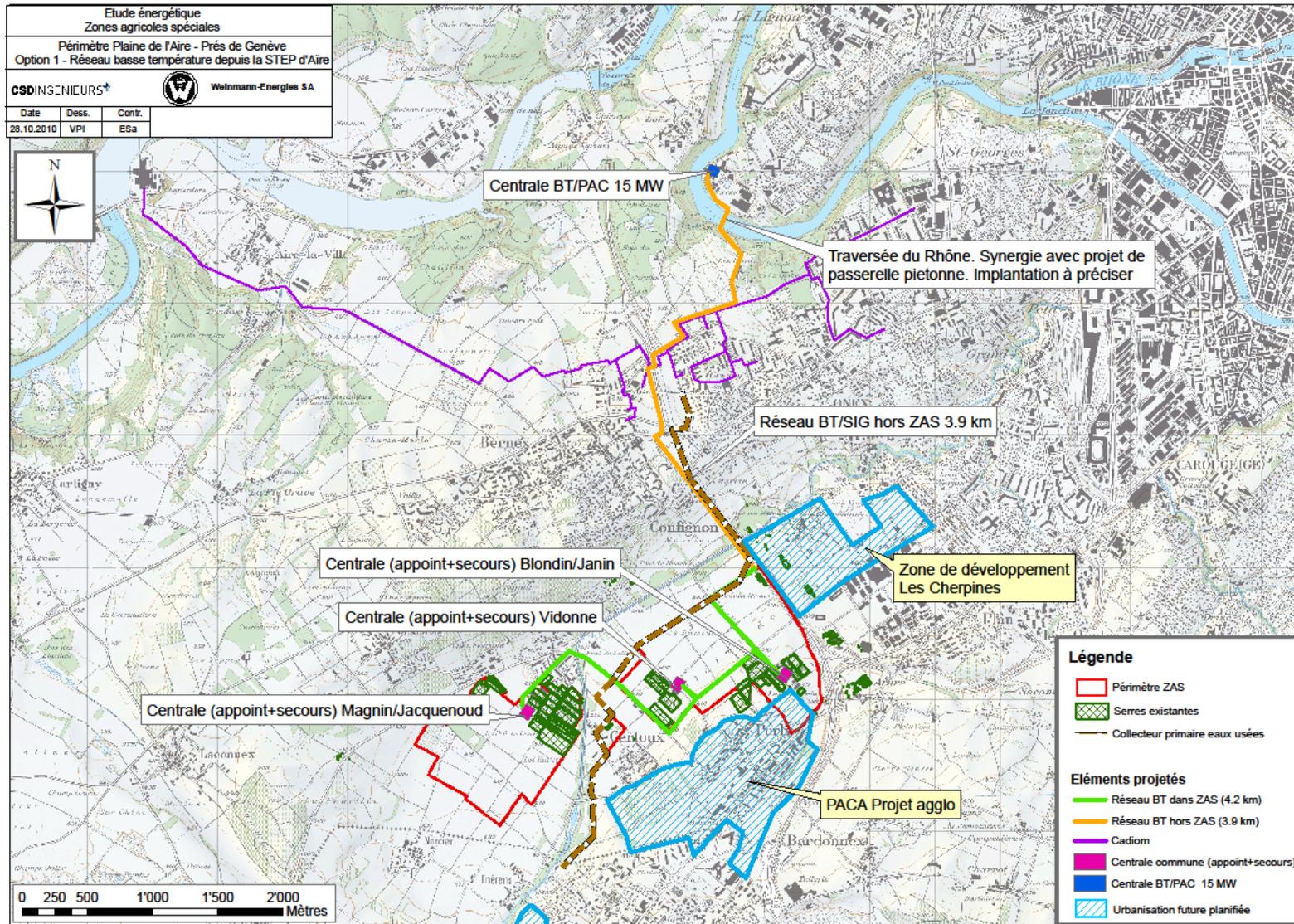


Figure 37 : Situation générale Variante STEP d'Aire – Près-de-Genève et Plaine de l'Aire



5.1.1.9 BESOINS EN ENERGIE BASSE ET HAUTE TEMPÉRATURE

La répartition de consommation d'énergie dans les nouvelles serres à construire a été considérée comme suit:

- 60 % à Basse Température (BT)
- 40 % à Haute Température (HT)

Cette hypothèse tient compte que les constructeurs de serres devront faire des efforts importants pour dimensionner leur réseau de tuyauterie de chauffage à basse température, par rapport à l'état actuel.

En considérant les données de construction des serres actuelles soit :

Circuit Dimensionné haute température

Tubes rails au sol de diamètre env. 52 mm Haute température (80°C avec une différence de température de 20 °C) couverture en puissance chauffage nécessaire de 85 % à 90 % (puissance thermique max. en hiver).

Circuit dimensionnée basse température

Tubes de végétation flexible BT de diamètre 38 mm ($T_{max} = 40^{\circ}C$ avec une différence de température de 5 à 7°C) couverture en puissance de chauffage de 10 à 15% (puissance thermique max. en hiver).

En tenant compte du concept de construction des serres, en alimentant en basse température (40°C) les circuits, on couvre tout au plus 40% des besoins de puissance chaleur nécessaire en hiver. En considérant qu'en été et à la mi-saison, l'énergie thermique est principalement donnée par des open buffers, l'énergie consommée à basse température ne dépasse pas 50% dans l'état actuel.

Pour pouvoir chauffer toute la serre en basse température, cela impliquerait de densifier le réseau de tubes au sol, et surtout sur les côtés latéraux. Mais cela pose aussi des problèmes de luminosité. L'adaptation des serres existantes reste coûteuse et compliquées. Selon l'avis de divers serristes et des personnes expertes en technique de serres, la serre chauffée en basse température n'est pas encore à l'heure actuelle un standard.

Avec la répartition admise, l'approvisionnement en énergie des ZAS de la Plaine de l'Aire et des Prés-de-Genève sera assuré comme suit dans le cadre de cette variante :

- Alimentation en chaleur basse température depuis la STEP d'Aire : 39 GWh
- Alimentation par les chaudières à gaz : 26 GWh

5.1.1.10 EQUIPEMENTS A PREVOIR EN DEHORS DU PÉRIMÈTRE DES ZAS

Une centrale de production de chaleur avec pompes à chaleur doit être construite sur le site de la STEP d'Aire:

- Puissance thermique nominale de l'eau chaude à 50 °C => 15 MW
- Puissance électrique nécessaire pour la centrale 4 MW
- Pompes à chaleur (env. 8 unités)
- Station de pompage de l'eau rejetée par la STEP et échangeurs avant PAC
- Distribution de chaleur et réseau hydraulique de départ du réseau basse température
- Bâtiment de la centrale : 350 m² et 4.5 m de hauteur

Il n'a pas été retenu d'installer cette centrale sur le site des ZAS, en raison de coûts très importants liés à l'adaptation du réseau d'alimentation en électricité pour assurer la puissance nécessaire d'environ 4 MW (coûts supplémentaires de l'ordre de CHF 10 mio).

Un réseau de distribution chaleur basse température à 50 °C apporte l'énergie thermique vers La Plaine de l'Aire. Celui-ci traversera Le Rhône en synergie avec la construction planifiée d'une passerelle piétonne reliant



Weinmann-Energies SA

Onex au Lignon. La longueur du réseau jusqu' en limite de ZAS Plaine de l'Aire est de 3.7 km, pour un débit nominal de l'ordre de 1290 m³/h.

5.1.1.11 INSTALLATIONS DANS LE PERIMETRE DES ZAS

Réseau basse température

Depuis la limite de La ZAS Plaine de L'Aire (Confignon), le réseau basse température se poursuit vers les maraîchers des ZAS Près-Genève et Plaine de l'Aire. Celui-ci a une longueur de 4.6 km et comporte 7 sous-stations. (1 par maraîcher + 1 réserve).

Centrales de production de chaleur d'appoint et de sécurité

Identique à la solution CADIOM HT

Réseaux de distribution vers les serres

Identique à la solution CADIOM HT

5.1.1.12 EQUIPEMENTS DES MARAÎCHERS

Identique à la solution CADIOM HT



5.1.2 Coûts d'investissement et d'exploitation

Le tableau ci-dessous présente la liste des investissements nécessaires pour la mise en place d'un approvisionnement par le réseau BT depuis la STEP d'Aire et des centrales d'appoints au gaz.

| Poste | Prix unitaire | Quantité | Montant CHF HT | Amortissement années |
|--|---------------------------|----------------------|-------------------|----------------------|
| 1. Installations source de chaleur | | | | |
| Pompes à chaleur | 120 CHF /kW _{th} | 15 MW | 1'800'000 | 20 |
| Réseau hydrauliques, raccordements électriques et sanitaires | 427 CHF/kW _{th} | 15 MW | 6'400'000 | 20 |
| Génie civil | 600 CHF /m ³ | 1'600 m ³ | 960'000 | 50 |
| Alimentation électrique centrale | | | 1'500'000 | 20 |
| 2. Réseau hors périmètre | | | | |
| Extension BT + passage Rhône (2mio CHF) | 3'000 CHF/ml | 3'700 m | 13'100'000 | 30 |
| 3. Centrales de production communes | | | | |
| Chaudières à gaz pour appoint, sécurité | 50 CHF/kW _{th} | 32 MW | 1'600'000 | 20 |
| Distribution, MCR, électricité, sanitaire | 84 CHF/kW _{th} | 32 MW | 2'700'000 | 20 |
| Génie civil | 600 CHF /m ³ | 1'330 m ³ | 800'000 | 50 |
| 4. Réseau intérieur périmètre | | | | |
| Réseau interne BT sur la ZAS | 2'800 CHF/ml | 4'300 m | 12'000'000 | 30 |
| Réseau interne HT depuis centrales gaz | 2'300 CHF/ml | 1'300 m | 3'000'000 | 30 |
| 5. Echangeurs - sous-stations | | | | |
| Sous-station BT | 130'000/unité | 7 | 900'000 | 30 |
| 6. Installations/équipements | | | | |
| Réseau gaine pour distribution CO2 | 400 CHF/ml | 1'800 m | 700'000 | 20 |
| Open Buffer | 300 CHF/m ³ | 3'120 m ³ | 940'000 | 20 |
| Adaptations réseaux hydrauliques | | | 2'000'000 | 20 |
| 7. Subventions à l'investissement | | | | |
| Réseau (canton) | | | -2'600'000 | |
| 8. Total des investissements | | | | |
| SIG | | | 22'730'000 | |
| Investissements collectifs maraîchers | | | 20'130'000 | |
| Investissements individuels maraîchers | | | 2'940'000 | |
| Total des investissements | | | 45'800'000 | |

Tableau 20: Liste des investissements pour la variante STEP d'Aire.



Le tableau ci-dessous présente les coûts d'exploitation et le prix estimé de l'énergie pour la variante STEP d'Aire.

| | | SIG | Maraîchers | Total |
|--|---------------|------------------|-------------------|------------------|
| Besoins en chaleur | GWh/an | 39 | 26 | 65 |
| Charges annuelles pour investissement après subventions et avec intérêt de 5% | CHF/an | 1'722'000 | 1'724'000 | 3'446'000 |
| Achat d'énergie gaz (26 GWh net à 6 ct/kWh) | CHF/an | 0 | 2'224'000 | 2'240'000 |
| Achat d'électricité (21 ct /kWh pour maraîchers et 18 ct/kWh pour centrales PAC) | CHF/an | 1'704'000 | 430'000 | 2'134'000 |
| Exploitation et maintenance | CHF/an | 390'000 | 260'000 | 650'000 |
| Remboursement taxe CO ₂ AEnEC (36 CHF/ t CO ₂) | CHF/an | | -220'000 | -220'000 |
| Total, CHF TTC | CHF/an | 3'816'000 | 4'434'000 | 8'250'000 |
| Prix du kWh TTC | ct/kWh | 9.8 | | 12.7 |

Tableau 21: Coûts d'exploitation et prix de l'énergie pour la variante STEP d'Aire.

Le calcul présenté ci-dessus considère que l'intégralité de l'amortissement du réseau BT depuis la STEP d'Aire est prise en charge par l'alimentation en énergie des ZAS.

En admettant que cette infrastructure soit également utilisée pour l'alimentation en énergie thermique des futurs quartiers d'habitation planifiés dans ce secteur et que seul 50% de l'amortissement de l'infrastructure serait à la charge des ZAS, le prix estimé serait ramené à 12.0 ct/kWh.

5.1.3 Synthèse et évaluation de la variante

Nous observons des résultats ci-dessus, que pour augmenter la rentabilité de la variante STEP d'Aire, il est primordial que le réseau de chauffage des nouvelles serres soit dimensionné à basse température à moyen et long terme. Ceci permettra de chauffer également la serre en période hivernale, car il sera possible de disposer de la puissance nécessaire en basse température. La période de novembre à mars ne demandant pas une forte production de CO₂ par les chaudières à gaz pour les cultures, il sera possible d'augmenter de façon importante la part d'énergie chaleur consommée en basse température (idéalement à plus de 80%), ainsi que la rentabilité de cette variante.

En plus du prix du combustible gaz, le coût de l'énergie électrique est aussi particulièrement important, en raison de la grande consommation de la centrale des pompes à chaleur, il représente en effet environ 25% du coût global de cette variante. Le prix de l'électricité consommée par cette centrale est aussi d'importance vitale pour la rentabilité de cette variante.

Pour l'énergie électrique consommée par la centrale des pompes à chaleur nous avons pris un prix moyen du courant électrique de 18 ct /kWh. Le prix de 21 ct/kWh est un prix moyen basé sur le tarif "Vital bleu-profil pro BT" qui est en général pratiqué par les SIG aux maraîchers. Nous avons considéré ce prix pour le courant électrique consommé par les maraîchers.

Avec la nouvelle loi cantonale sur l'énergie, et les standards de haute ou très haute qualité énergétique, les nouveaux bâtiments sont aujourd'hui à même d'être intégralement alimentés à basse température pour le chauffage.

Au vu des projets d'urbanisations prévus à proximité du réseau prévu de puis la STEP d'Aire et de l'important potentiel d'énergie disponible, les synergies avec l'alimentation en énergie des ZAS sont à exploiter afin de mieux rentabiliser les investissements sur le réseau et les installations.

La concrétisation de cette variante mérite d'être approfondie dans ce sens.



5.2 ZAS Veyrier-Troinex

5.2.1 Variante centrale à bois et gaz

5.2.1.1 DESCRIPTION GENERALE

Construction d'une centrale de chaudière à bois avec CCF. Projet de chauffage commun par conduite à distance entre 3 maraîchers voisins. Des chaudières à gaz sont prévues dans les sous-stations pour appoint, secours et production de CO₂. La puissance thermique délivrée serait de 3.5 MW et la puissance électrique serait de 0.8 MW.

5.2.1.2 SITUATION INITIALE

L'exploitation de **MM. Verdonnet-Bouchet** est constituée par une serre de 53'000 m² dont l'alimentation en énergie thermique est actuellement principalement assurée par une chaudière à bois d'une puissance de 4 MW mise en service en 1995. Cette installation ne répond plus aux exigences de l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair) et une décision d'assainir a été prononcée par l'autorité cantonale avec une échéance fixée en 2012, qui implique le remplacement complet de l'installation.

L'exploitation de MM. Verdonnet-Bouchet comprend en outre 2 chaudières au mazout d'une puissance de 3 MW chacune qui fonctionnent actuellement comme installation de secours ou pour assurer l'approvisionnement d'appoint lors de pointes ou lorsque la faible ampleur des besoins ne justifie pas la mise en exploitation de la chaudière au bois. Ces chaudières au mazout sont conformes aux normes actuelles de l'OPair (système Low-NOx).

L'entreprise **Datasenn** prévoit la réalisation d'une nouvelle serre de 15'000 m² sur la parcelle adjacente, à l'est de la parcelle Verdonnet, affectée à la culture de germes et de pousses alimentaires. La mise en exploitation de cette serre est planifiée pour l'année 2012.

Au nord de la serre existante de MM. Verdonnet, les exploitants maraîchers **MM. Cudet et Brestaz** prévoient la réalisation d'une nouvelle serre affectée à la culture maraîchère d'une surface totale de 60'000 m², comportant une première étape d'environ 37'000 m² dont la mise en service est également planifiée pour 2012.

Avec ces projets planifiés, une surface de serre de l'ordre de 13 hectares est donc à considérer dans un futur proche sur les 3 parcelles adjacentes représentées sur la carte de la page suivante.

Associée à la nécessité de remplacer la chaudière au bois existante de l'exploitation Verdonnet-Bouchet, l'extension importante des surfaces de serres concentrées sur 3 parcelles adjacentes à amené à la définition d'un concept global d'alimentation en énergie durable, permettant de répondre de manière optimale aux objectifs suivants :

- Stabiliser voire réduire les coûts énergétiques. Les coûts peuvent représenter jusqu'à un tiers des charges et constituent donc un facteur clé de la compétitivité des exploitations concernées
- Poursuivre la transition énergétique entamée avec le projet Verdonnet en optimisant le recours autant que possible le recours aux énergies renouvelables et en réduisant la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles. Cet objectif permet également de répondre à une demande des marchés de proximité pour des produits locaux ayant une empreinte écologique ou un bilan énergétique meilleur que des produits importés.

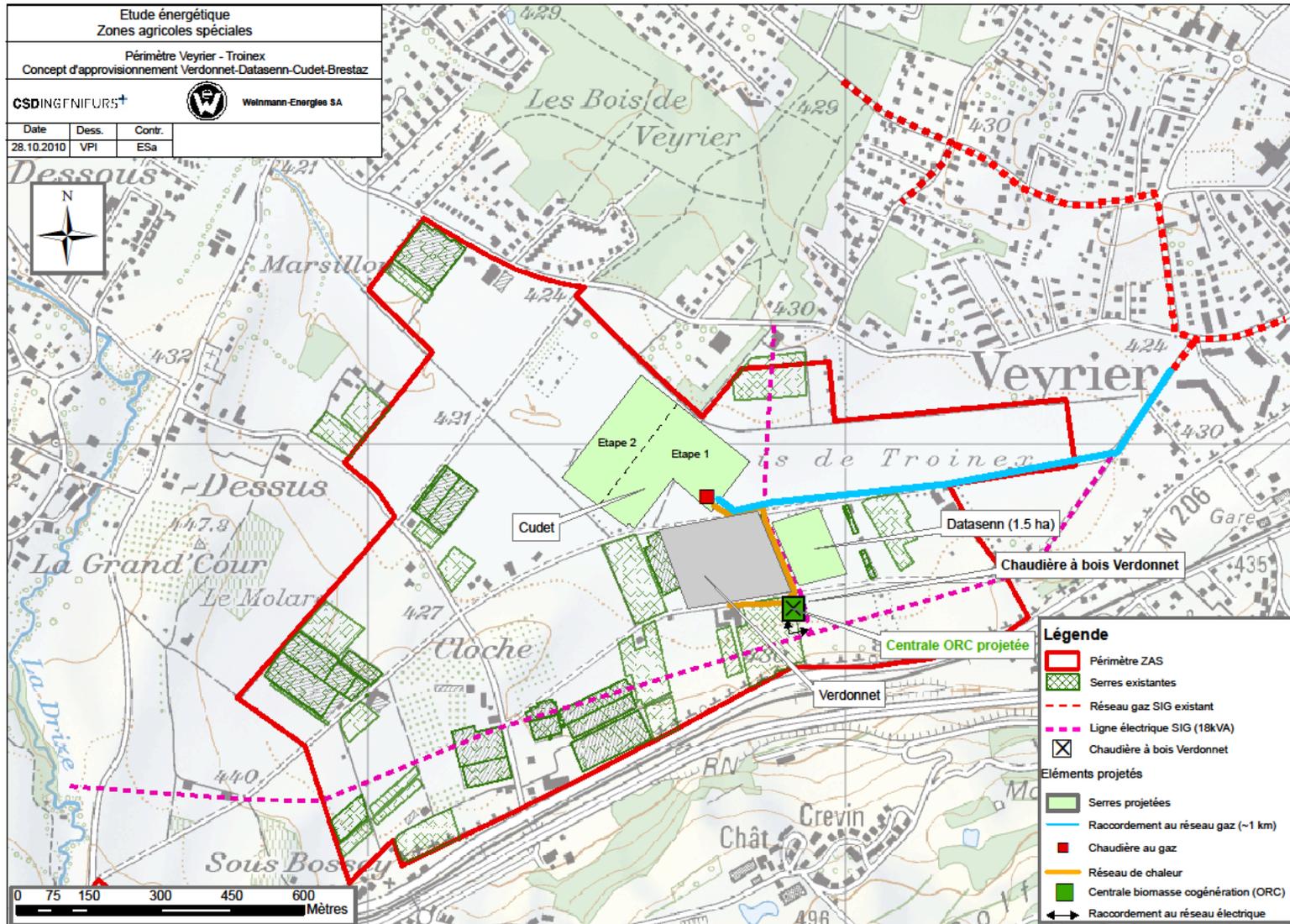


Figure 38 : Situation générale – Concept d'approvisionnement Veyrier - Troinex



Diversifier les sources d'énergie mises à contribution

- Assurer une mise en réseau entre les exploitations concernées permettant de rationaliser l'exploitation globale du système et de valoriser les synergies en cas de dysfonctionnements ou de périodes de maintenance.
- Assurer la sécurité à long terme dans le cadre d'une exploitation durable des ressources forestières de l'agglomération.

Les consommations en énergie thermique et puissances mises à contribution peuvent être estimées comme suit à l'horizon de mise en service des différentes serres planifiées (2012) :

| Serriste | Surface serres + tunnels chauffés [m2] | Besoins combustibles [GWh/an] | Besoins énergie thermique [GWh/an] | Puissance thermique (avec Open Buffer) [MW] | Puissance thermique (sans Open Buffer) [MW] |
|-----------------|--|-------------------------------|------------------------------------|---|---|
| Verdonnet | 52'900 | 8 | 5.8 | 2.5 | |
| Cudet / Brestaz | | | | | |
| Phase 1 | 40'000 | 9.6 | 7 | 3.4 | |
| Phase 2 | 20'000 | 4.8 | 3.5 | 1.8 | |
| Datasenn | 15'000 | 3.6 | 2.7 | 1 | |
| Totaux | 127'900 | 26 | 19 | 8.7 | 14.5 |

Tableau 22: Surfaces, énergies et puissances caractéristiques.

Un autre paramètre important à intégrer à la définition du concept d'approvisionnement est constitué par les besoins en CO₂ de la serre maraîchère planifiée par Cudet/Brestaz. En effet, le mode de production prévu intègre l'injection de CO₂ afin de stimuler la photosynthèse et la production. L'apport de CO₂ est dosé afin de maintenir une concentration de 1500 ppm pendant la période de production, ce qui implique une consommation maximale de 200 kg par heure et hectare, soit 100 m³ de gaz par heure et hectare. La consommation annuelle est estimée à 600 tonnes de CO₂ par hectare et par année.

5.2.1.3 DESCRIPTIF DU PROJET

Généralités

A partir des objectifs définis, le concept porte sur un projet de chauffage commun intégrant un réseau de chaleur entre les 3 exploitants concernés et les techniques de production de chaleur suivantes :

- Chaudière à bois à huile thermique et ORC turbogénérateur (Organic Rankine Cycle) pour la production de chaleur et électricité, implantée sur l'emplacement de l'actuelle centrale thermique de MM. Verdonnet – Bouchet.
- Chaudières à gaz pour la sécurité, l'appoint et les pointes et la production de la totalité ou d'une partie des besoins en CO₂, implantées au niveau de la serre planifiée par MM. Cudet – Brestaz.

Le dispositif planifié est représenté sur la carte de la page précédente et sur le schéma ci-après. Il permet de renforcer l'utilisation d'énergie renouvelable pour le chauffage des serres et d'améliorer l'efficacité des systèmes de chauffage pour les serres. Des chaudières à gaz produisant de la chaleur et du CO₂ réutilisées dans les serres maraîchères reliées par une conduite à la chaudière à bois avec ORC.

Les systèmes de pilotage sont homogénéisés (gestion du climat unifié). Le système de secours est assuré par une chaudière à gaz plus les chaudières à mazout existantes. Un système de CO₂ liquide complémentaire et des cuves de stockage (open-buffer) permettent un dimensionnement optimal de l'ensemble.

Ce système permet la production de chaleur pour 13 ha de serres maraîchères et horticoles, la production de CO₂ pour les serres maraîchères et la production d'électricité qui peut être revendue sur le réseau.

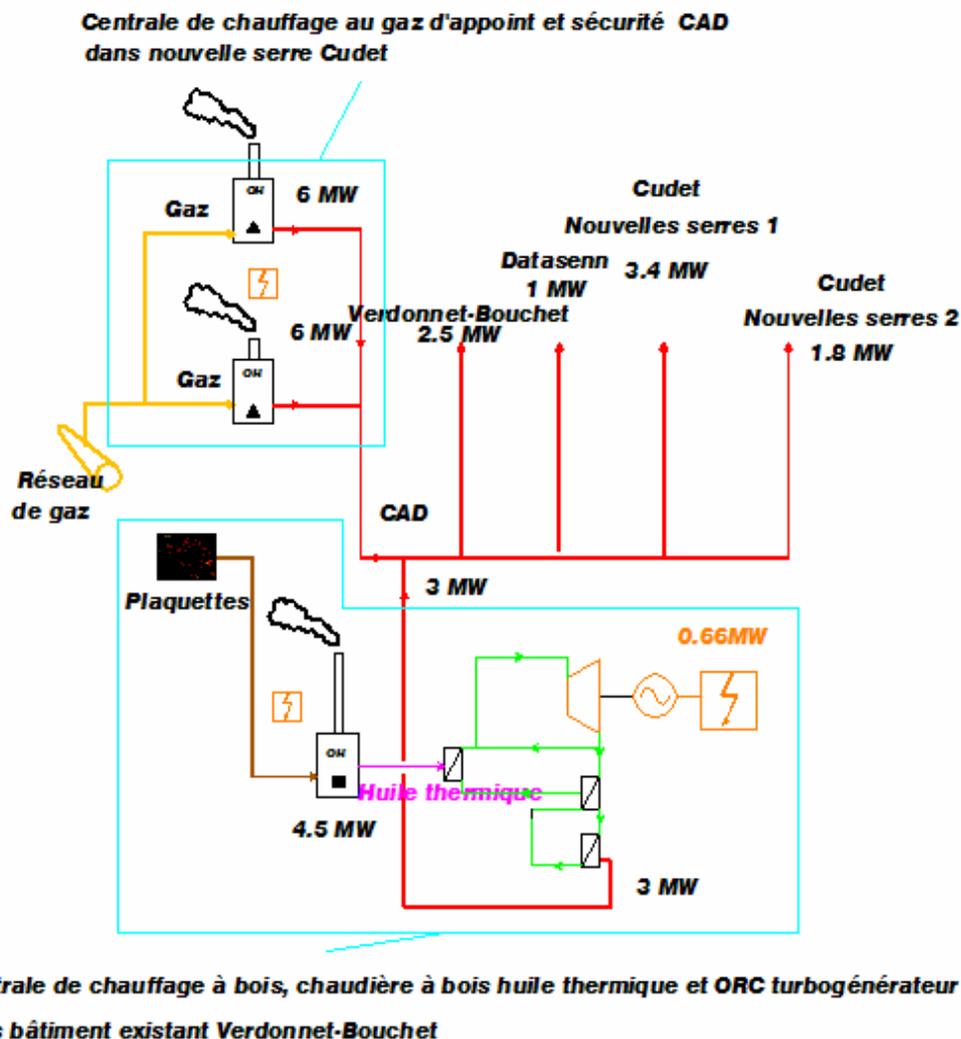


Figure 39: Schéma de principe pour variante Veyrier-Troinex

Le dispositif est constitué des éléments suivants :

Centrale de production chaleur et électricité au bois (ORC)

Une centrale de production de chaleur et électricité sera disposée dans le bâtiment existant où se trouve l'ancienne chaudière à bois. L'installation prévue est un four chaudière à bois avec circuit à huile thermique et un turbogénérateur ORC pour produire l'électricité. Cette installation produit de la chaleur thermique et de l'électricité avec pour combustible des plaquettes de bois ou d'autres types de matériaux ou résidus assimilés.

La puissance nominale thermique fournie par le condenseur et le récupérateur d'énergie à 66 % est de 3.5 MW. La Puissance thermique de combustion est de 5.3 MW. La puissance nominale électrique fournie par le turbogénérateur ORC est de 790 kW_{el} (rendement électrique de 15 %)

En tenant compte de l'installation de traitement des fumées aux nouvelles normes exigeant au moins un filtre cyclone et un électrofiltre, de l'installation de l'ORC et du turbogénérateur et des équipements hydrauliques pour la distribution chaleur du réseau cuves d'accumulation, pompes, etc., nous évaluons l'extension du bâtiment à une surface de 170 m².



L'injection de l'électricité produite par la centrale ORC implique la réalisation d'une sous-station d'une puissance de 800 kW et d'un raccordement au réseau électrique SIG aérien 18 kVA implanté pratiquement à l'aplomb de la centrale.

Centrale de production de chaleur au gaz pour appoint, sécurité, gaz

La mise en œuvre d'une centrale de production au gaz nécessite en premier lieu un raccordement du périmètre au réseau de distribution de gaz existant des SIG qui est actuellement présent à 1 km au nord de notre périmètre dans le quartier résidentiel de Veyrier. La réalisation d'une conduite de gaz de 1 km est donc nécessaire.

Pour l'ensemble du réseau, une centrale de production chaleur au gaz, servant d'appoint au chauffage au bois, de sécurité et pour la production de CO₂ est disposée dans les locaux des nouvelles serres des maraîchers Cudet et Brestaz. La puissance thermique serait de 2 X 6 MW, soit en tout 12 MW.

La production chaleur des chaudières à gaz doit pouvoir garantir le chauffage de tout le réseau en cas de panne de la chaudière à bois. Une des chaudières de 6 MW est dédiée au secours et à l'appoint en CO₂.

Dans la phase transitoire, une seule chaudière à gaz sera installée, les chaudières à fuel de Verdonnet-Bouchet seront maintenues en service pour le secours et des appoints ponctuels.

Afin de limiter la consommation de gaz et la production de chaleur non valorisable en période estivale, l'intégration au dispositif de CO₂ liquide, stockée dans une citerne à aménager sur l'exploitation Cudet/Brestaz serait également envisageable. La faisabilité (économique) de cette option doit encore être confirmée sur la base des données liées à la courbe des besoins annuels en CO₂ et du coût d'approvisionnement du CO₂ liquide.

Réseau de chauffage à distance haute température

Un réseau de chauffage à distance à haute température ($T < 85\text{ °C}$), relie le bâtiment de la centrale à bois de Verdonnet aux diverses sous-stations suivantes (voir aussi carte de situation plus haut). La longueur du réseau serait de 300 m.

- Sous-station Verdonnet – Bouchet, 2.5 MW, dans la centrale de chauffage des serres de Verdonnet – Bouchet
- Sous-station Datasenn, 1 MW, dans la centrale de chauffage des serres de Datasenn
- Sous-station Cudet/Brestaz nouvelle serre phase 1, 3.4 MW
- Sous- station Cudet/Brestaz nouvelle serre phase 2, 1.8 MW



Open Buffer

Des réservoirs d'eau appelés open buffer sont construits afin de palier aux variations de la demande en énergie et de pouvoir déphaser la production de CO₂ diurne et la demande en chaleur nocturne.

Pour les nouvelles serres de Cudet et Brestaz de 40'000 m² lors de la première phase des travaux et de 20'000 m² lors de la deuxième phase des travaux, le volume d'open buffer à construire est de 1200 m³. Pour les serres de Verdonnet-Bouchet, un volume de 500 m³ a été considéré.

Gestion du climat

Une gestion du climat commune entre les 3 exploitants est prévue. Celle-ci tiendra compte des paramètres suivants: humidité, CO₂, y compris anticipation en fonction de la météo à plusieurs jours.

Consommation d'énergie et demande de puissance

Les consommations d'énergie ont été calculées sur la base des données fournies par les maraîchers. Le tableau ci-dessous en donne un résumé.

Les hypothèses suivantes sont prises en compte pour la répartition bois/gaz de la consommation d'énergie et des puissances demandées des maraîchers:

Répartition énergie consommée par agents énergétiques:

- 45 % bois
- 55 % fossile (gaz naturel)

Répartition puissance consommée par agents énergétiques

- 35 % bois
- 65 % fossile (gaz naturel)

Estimation de la production d'énergie électrique

Il est prévu une production annuelle d'env. 2 GWh d'électricité.

Synthèse et évaluation

L'étude de détail permettra d'optimiser l'influence de la production de CO₂ produit par les chaudières à gaz pour les serres à tomates, sur la part d'énergie chaleur et électrique produite par l'installation à bois.

Dans l'éventualité d'un raccordement éventuel à d'autres maraîchers, nous observons que les autres maraîchers de la zone Veyrier-Troinex ont des consommations d'énergie et puissance thermique bien moins importantes que Verdonnet, Cudet et Datasenn. Les deux maraîchers les plus proches du réseau à distance Verdonnet-Bouchet, Datasenn et Cudet sont Elmer et Pellet-Pecorini.

Dans l'état actuel des connaissances il n'est pas prévu d'extension de serres à court et moyen terme pour ces deux maraîchers.

Pour les autres serres du périmètre Veyrier-Troinex, un raccordement au futur réseau gaz semble l'option la plus intéressante économiquement. Il est de plus tout à fait envisageable que certaines d'entre elles soient chauffées par des chaudières à bois, et/ou en partie par des installations géothermiques.

Le réseau prévu devra être dimensionné de manière à pouvoir y raccorder de futurs projets d'extension de serres. Il est de même envisageable que ce secteur puisse être alimenté à moyen ou long terme par la géothermie à grande profondeur si le potentiel du secteur de Troinex se confirme.

**5.2.1.4 COUTS D'INVESTISSEMENT ET D'EXPLOITATION**

Le tableau ci-dessous présente es investissements nécessaires pour la mise en place d'un approvisionnement par chaudière bois avec CCF et centrales d'appoints au gaz.

| Poste | Prix unitaire | Quantité | Montant CHF HT | Amortissement années |
|--|--------------------------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1. Réseau hors périmètre | | | | |
| Connexion réseau électrique (SIG) | | | 170'000 | Inclus dans prix SIG ⁶ |
| Connexion réseau gaz (SIG) | | | à voir avec SIG | Inclus dans prix SIG ⁶ |
| 2. Centrales de production | | | | |
| Chaudière bois + ORC | | 3 MW | 3'700'000 | 20 |
| Distribution hydraulique, électricité + MCR | 400 CHF/kW _{th} | 3 MW | 1'200'000 | 20 |
| Chaudières à gaz pour appoint, sécurité | 50 CHF/kW _{th} | 12 MW | 600'000 | 20 |
| Distribution hydraulique, sanitaire, électricité + MCR | 100 CHF/kW _{th} | 12 MW | 1'200'000 | 20 |
| Génie civil | 600 CHF /m ³ | 1'330 m ³ | 800'000 | 50 |
| 3. Réseau intérieur périmètre | | | | |
| Réseau interne HT depuis centrales | 2'300 CHF/ml | 300 m | 690'000 | 30 |
| 4. Echangeurs - sous-stations | | | | |
| Sous-station HT | 130'000/unité | 4 | 520'000 | 30 |
| 5. Installations/équipements | | | | |
| Open Buffer | 300 CHF/m ³ | 1700 m ³ | 510'000 | 20 |
| 6. Subventions à l'investissement | | | | |
| Production chaleur (canton) | | | -50'000 | |
| Réseau (canton) | | | -690'000 | |
| 7. Total des investissements | | | | |
| Investissements SIG | | | 170'000 | |
| Investissements collectifs maraîchers | | | 7'970'000 | |
| Investissements individuels maraîchers | | | 510'000 | |
| Total des investissements | | | 8'650'000 | |

Tableau 23: Investissements pour le projet de centrale à bois.

⁶ Non amorti, car inclus dans prix de vente de l'énergie des SIG



Le tableau ci-dessous présente les coûts d'exploitation et le prix de l'énergie pour le projet défini pour le périmètre de Veyrier-Troinex :

| | | |
|--|---------------|------------------|
| Besoins en chaleur | GWh/an | 20 |
| Production nette d'électricité | GWh/an | 2 |
| Charges annuelles pour investissement après subventions et avec intérêt de 5% | CHF/an | 713'650 |
| Achat d'énergie gaz (6 ct/kWh) | CHF/an | 966'760 |
| Achat biomasse (31 CHF/m ³ pl) | CHF/an | 490'000 |
| Achat d'électricité (21 ct /kWh) | CHF/an | 113'000 |
| Exploitation et maintenance | CHF/an | 200'000 |
| Subvention RPC | CHF/an | -500'000 |
| Remboursement taxe CO ₂ AEnEC 36 CHF/ t CO ₂ | CHF/an | -97'940 |
| Total, CHF TTC | CHF/an | 1'886'460 |
| Prix du kWh TTC | ct/kWh | 9.40 |

Tableau 24: Coûts d'exploitation et prix de l'énergie pour pour le projet de centrale à bois / gaz de Veyrier - Troinex.



6. CONCLUSIONS

La présente étude a permis de mettre en évidence le poids considérable de la consommation énergétique des maraîchers dans le cadre de la planification énergétique cantonale. La consommation estimée pour les états à court terme et à moyen terme est déjà très élevée. L'estimation effectuée pour la situation à long terme, qui admet un développement à saturation des ZAS de la Plaine de l'Aire/Prés-de-Genève et de Veyrier-Troinex selon les schémas directeurs établis met en évidence des besoins en énergétiques cumulés considérables, largement supérieurs à l'énergie totale produite par les réseaux de CAD de CADIOM et du Lignon.

Il n'en demeure pas moins que des opportunités existent pour améliorer la pérennité de l'approvisionnement énergétique des ZAS. Des gisements potentiels tels que les rejets à basse température de l'usine des Cheneviers (ou de la future usine à construire) et des eaux traitées en sortie de la STEP d'Aire pourraient être valorisés dans ce cadre. Ces gisements démontrent l'importance de la réflexion sur l'articulation des réseaux de chaleur et sur l'emplacement géographiques des zones agricoles spéciales vis-à-vis de ces derniers. De plus, la transition vers des quartiers d'habitation utilisant une distribution à basse température devrait pouvoir renforcer l'affectation de la chaleur à haute température vers les utilisateurs qui en ont vraiment besoin, tels les maraîchers.

De par la situation géographique, ces options de raccordements à des réseaux de chaleur base température ou haute température sont à considérer pour les ZAS de la Plaine de l'Aire et des Prés-de-Genève.

Pour le périmètre de Veyrier – Troinex, la valorisation de la biomasse (chaudière à bois) constitue l'option à privilégier pour les horizons à court et moyen terme en synergie avec le recours au gaz afin d'assurer les consommations de pointe et la production de CO₂ nécessaire à l'optimisation de la production maraîchère.

Vu l'ampleur des besoins des zones agricoles spéciales, les réflexions énergétiques menées à l'échelle du canton et de l'agglomération devront porter sur un rapprochement géographique entre les gros émetteurs de chaleur et les maraîchers, que cela soit pour l'implantation de la future usine de traitement de déchets, la planification de futures ZAS ou le positionnement des forages géothermiques profonds.