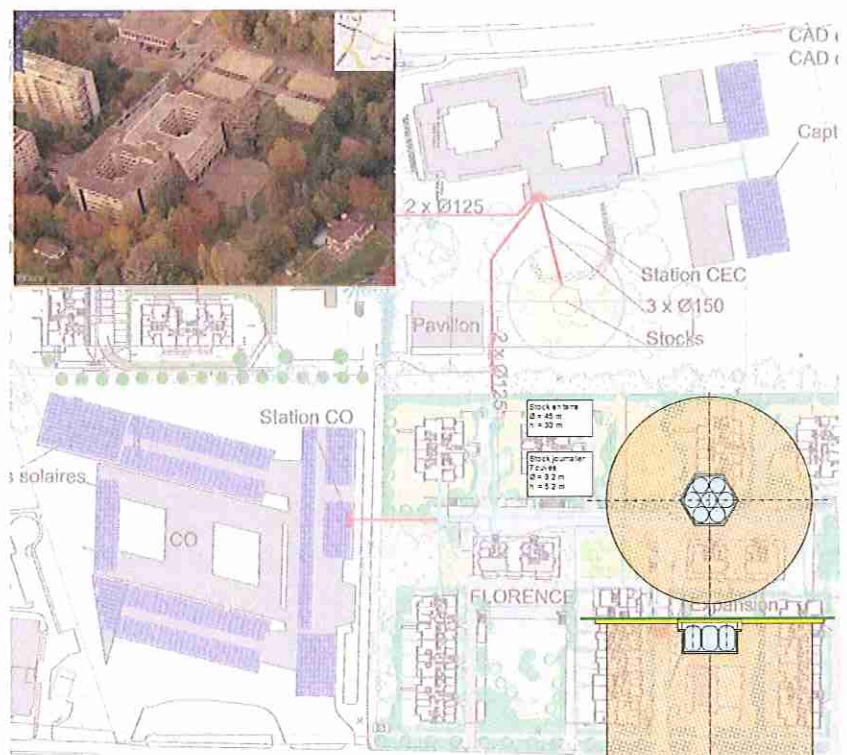


Projet de stockage saisonnier de chaleur

Quartier solaire Florence - Champendal



Rapport de retour d'expérience

Réf. SIG IC161
Réf. ScanE 12.10.192
Réf. OFEN SI/500587

Projet de stockage saisonnier de chaleur

Quartier solaire Florence - Champendal

Rapport de retour d'expérience

Réf. SIG IC161

Réf. ScanE 12.10.192

Réf. OFEN SI/500587



| | | | |
|---------------|---|--|--|
| Version | - | | |
| Document | 6614.06-RN018b/Dob | | |
| Date | 4 mars 2013 | | |
| Elaboration |  Jean-Baptiste Brunet | | |
| Visa |  Jean-Daniel Marchand | | |
| Collaboration | Frank Doppenberg Caroline Fabre | | |
| Distribution | | | |



| Table des matières | Page |
|--|-------------|
| 1. Résumé | 1 |
| 2. Description du projet pilote | 4 |
| 2.1 Caractéristiques du projet | 4 |
| 2.2 Objectifs | 6 |
| 2.3 Parties prenantes | 6 |
| 2.4 Déroulement | 7 |
| 2.4.1 Technique | 7 |
| 2.4.2 Simulations | 9 |
| 2.4.3 Economique | 13 |
| 2.4.4 Juridique, commercial et communication | 14 |
| 2.4.5 Références de projets existants | 14 |
| 3. Enseignements du projet | 15 |
| 3.1 Technique | 15 |
| 3.1.1 Données techniques de base | 15 |
| 3.1.2 Contraintes | 15 |
| 3.2 Economique | 17 |
| 3.2.1 Données économiques de base | 17 |
| 3.2.2 Contraintes | 18 |
| 3.3 Organisation | 18 |
| 4. Approche méthodologique | 21 |
| 4.1 Objectifs et hypothèses de travail | 21 |
| 4.2 Etudes | 21 |
| 4.2.1 Choix du site | 21 |
| 4.2.2 Etudes techniques et administratives | 22 |
| 4.2.3 Calculs économique | 22 |
| 4.3 Partenaires et organisation | 23 |
| 4.4 Communication | 23 |
| 4.5 Contraintes administratives | 24 |
| 4.6 Risques | 24 |
| 4.7 Proposition de plan de travail. | 25 |
| 5. Conclusions | 29 |
| 6. Annexes | 30 |

1. Résumé

L'objectif de ce rapport est de faire le retour d'expérience d'un projet d'étude de stockage saisonnier en terre pour le chauffage et la préparation d'eau chaude sanitaire d'un quartier d'habitation. Ce rapport est rédigé à la demande des SIG, du ScanE et de l'OFEN.

Bien que ce projet ne se soit pas réalisé, les enseignements techniques et organisationnels mis en évidence sont utiles pour mieux appréhender les caractéristiques et contraintes à prendre en compte pour déployer une telle technologie dans d'autres cas similaires de conception énergétique territoriale.

Les projets immobiliers des quartiers de Florence et de Champendal à Genève sont des constructions neuves abritant 393 logements Minergie® sur une surface brute de 61 000 m² de plancher chauffé.

Depuis le début, les Maîtres de l'Ouvrage des projets immobiliers ont souhaité construire des bâtiments de haute performance énergétique, chauffer et produire l'eau chaude de leurs immeubles de logements avec un minimum d'énergie fossile tout en respectant globalement et à long terme le principe de proportionnalité économique.

Le service cantonal de l'énergie de Genève (ScanE), considérant que ce projet s'inscrivait dans les objectifs de la politique énergétique cantonale, leur a proposé d'étudier une alternative crédible consistant en la possibilité d'acheter de la chaleur solaire par un équipement de chauffage à distance financé indépendamment des immeubles. En juin 2008, le ScanE a mandaté BG pour réaliser une étude de faisabilité/avant-projet sommaire qui a été suffisamment probante pour convaincre les propriétaires à signer une charte d'engagement avec l'Etat sur le concept énergétique du quartier en juillet 2009. De son côté, le ScanE a coordonné avec l'Etat de Genève (DCTI), propriétaire des deux complexes scolaires, la mise à disposition des toitures des bâtiments scolaires pour les capteurs solaires et du parc pour le stockage souterrain pour ce projet novateur.

Les Services Industriels de Genève (SIG), intéressés de participer à ce projet en qualité de futur Maître de l'Ouvrage des infrastructures énergétiques, ont mandaté BG en septembre 2009 pour les études d'avant-projet détaillé de cette installation de chauffage solaire de quartier. Sur la base d'une première étape d'APD centrée sur les installations thermiques et leur coût, les SIG ont élaboré en octobre 2010 un montage financier intégrant les propriétaires des immeubles, le Service du logement, le ScanE et l'Office fédéral de l'énergie, afin de border économiquement le projet.

Concrètement, le ScanE et l'OFEN ont envisagé en novembre 2010, de soutenir un projet pilote de captage d'énergie thermique solaire et de stockage saisonnier de chaleur sans pompe à chaleur à hauteur de 3,2 MCHF.

Dans ses principes techniques et constructifs, le projet de chauffage et de préparation de l'eau chaude sanitaire pour ces quartiers consiste dans la réalisation d'une installation solaire thermique constituée de 4 500 m² de panneaux solaires vitrés plans avec stockage saisonnier de la chaleur dans un stock en terre de 45 000 m³, constitué d'un champ de 300 sondes géothermiques.

La chaleur générée par l'installation solaire, de l'ordre de 1 920 MWh/an accumulée dans le stock en terre, est distribuée via un réseau de chauffage jusqu'aux sous-stations d'échanges situées dans les bâtiments de logements. En tenant compte d'un bilan énergétique thermique de l'ordre de 2 510 MWh/an, le système permet, après cinq ans d'exploitation, d'assurer un appoint de chaleur correspondant à une couverture de 75% des besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire des logements. Le complément, soit 590 MWh/an est fourni par des chaudières individuelles à gaz par bâtiment. De plus, 22 MWh/an sont consommés par les auxiliaires électriques nécessaires à la distribution de l'énergie thermique.

La technologie de production de chaleur solaire avec stockage saisonnier en terre présente des aspects très positifs en termes de taux de couverture par des énergies renouvelables et par son caractère autarcique.

Des indicateurs de dimensionnement sont présentés dans le rapport, permettant de caractériser, un certain nombre d'éléments techniques (volumes des stocks journaliers et enterrés, surfaces des capteurs thermiques) en fonction des besoins d'énergies estimés du quartier.

Le solde des études d'APD ont été réalisés d'avril à novembre 2011. Leur résultat a conduit finalement à l'abandon du projet pour plusieurs raisons :

- Le comportement géo mécanique du sol, qui n'avait pas été identifié comme critique dans les premières phases d'étude de faisabilité/avant-projet sommaire et d'avant projet détaillé thermique. Les stocks solaires existants de Neckarsulm (Allemagne) et de Drake Landing (Canada) pris comme référence ne connaissent pas cette problématique. Les experts suisses MM Pahud et Hadorn dûment consultés n'ont pas non plus signalé ce risque. Il s'est révélé problématique lorsque la simulation numérique a été réalisée dans la phase d'avant-projet de 2011. Ce comportement compromet l'implantation d'un stockage saisonnier aux abords des bâtiments du complexe scolaire en induisant des risques structurels liés à des tassements différentiels supérieurs aux 25 mm admissible pour en l'espèce.
- L'Etat de Genève, propriétaire des complexes scolaires, ne peut s'engager à mettre à disposition leur parcelle et leurs toitures à la lumière du risque encourus par leurs bâtiments et ses occupants, et ce, même si des études complémentaires étaient menées pour affiner la caractérisation géo-mécanique du sol.
- Un dépassement de 3.5 MCHF pour le projet a été identifié. Ce dépassement correspond à :
 - Un renforcement structurel du stock en terre, des stocks thermiques journaliers, des sondes géothermiques, des bâtiments du DCTI rendus nécessaires par le comportement mécanique du sol, pour 1,93 MCHF
 - Des postes de dépenses sous-estimés en phase d'avant projet, comme le réseau CAD et les sous-stations des immeubles, pour 1,08 MCHF
 - Et enfin l'ajout d'un poste divers et imprévu justifié pour couvrir la précision du chiffrage estimée à +/- 7%, pour 0,49 MCHF

- Le budget du projet avait été estimé en octobre 2010 à 6.3 MCHF et le ScanE et l'OFEN s'étaient engagés sur cette base à subventionner ce projet à hauteur de 3.2 MCHF.
- Compte tenu des raisons énoncées, le ScanE et l'OFEN ont renoncé à s'engager à soutenir les coûts supplémentaires du projet.

Nombreux sont les enseignements à retenir des études menées et notamment sur les multiples contraintes à prendre en compte.

Parmi les contraintes identifiées figure le besoin d'un terrain pour le stock en terre dont les caractéristiques du sous-sol soient hydro géologiquement favorables. De plus, le terrain ne doit pas être aux abords immédiats de bâtiments existants ou à construire à cause des mouvements du terrain résultant de la variation de température dans le stock. Le terrain ne doit pas comporter d'arbres de valeur ou composer un biotope à protéger. Enfin, l'ensemble des capteurs solaires nécessaires à la production de chaleur doit pouvoir être implanté à proximité du site.

Au niveau économique, le système représente un investissement important et le coût résultant de la chaleur est actuellement plus élevé qu'avec le gaz. Toutefois, ce surcoût de l'énergie ne représente que de l'ordre de 3% du montant des loyers et peut donc se justifier dans le cadre d'un projet à vocation environnementale. En effet le loyer annuel est de l'ordre de 300 CHF/m², à comparer aux 8 à 9 CHF/m² de surcoût du chauffage par stock saisonnier (soit 20 ct/kWh de surcoût par rapport à une solution classique gaz+ solaire multipliés par 41 kWh/m².an)

D'un point de vue organisationnel, l'ensemble des partenaires doit être impliqué dès le début, en particulier le Maître de l'Ouvrage, les bureaux d'architectes et d'ingénieurs, les Autorités, le service de l'énergie et les organismes financiers. Dans le cas présent, les études se sont focalisées dans les premières étapes sur les aspects purement thermiques. Or la participation dès le départ d'un géotechnicien, d'un architecte aurait vraisemblablement permis d'identifier comme essentiel le comportement mécanique du terrain d'une part et d'intégrer plus rapidement les contraintes et les coûts des aménagements extérieurs et des installations de chantier. Enfin des revues de projets impliquant tous les partenaires doivent être réalisées aux étapes importantes afin de garantir une bonne communication interne et la qualité du résultat (validation de la faisabilité, validation des budgets).

Enfin, un certain nombre de risques identifiés peuvent se révéler bloquant pour la réalisation du projet, ces risques pouvant être d'ordre technique, administratif ou financier. En fin de rapport, sur la base de l'expérience acquise, un plan de travail chronologique est proposé. Celui-ci permet d'éliminer progressivement les risques du "plus probable et important" au "moins probable et mineur".

2. Description du projet pilote

2.1 Caractéristiques du projet

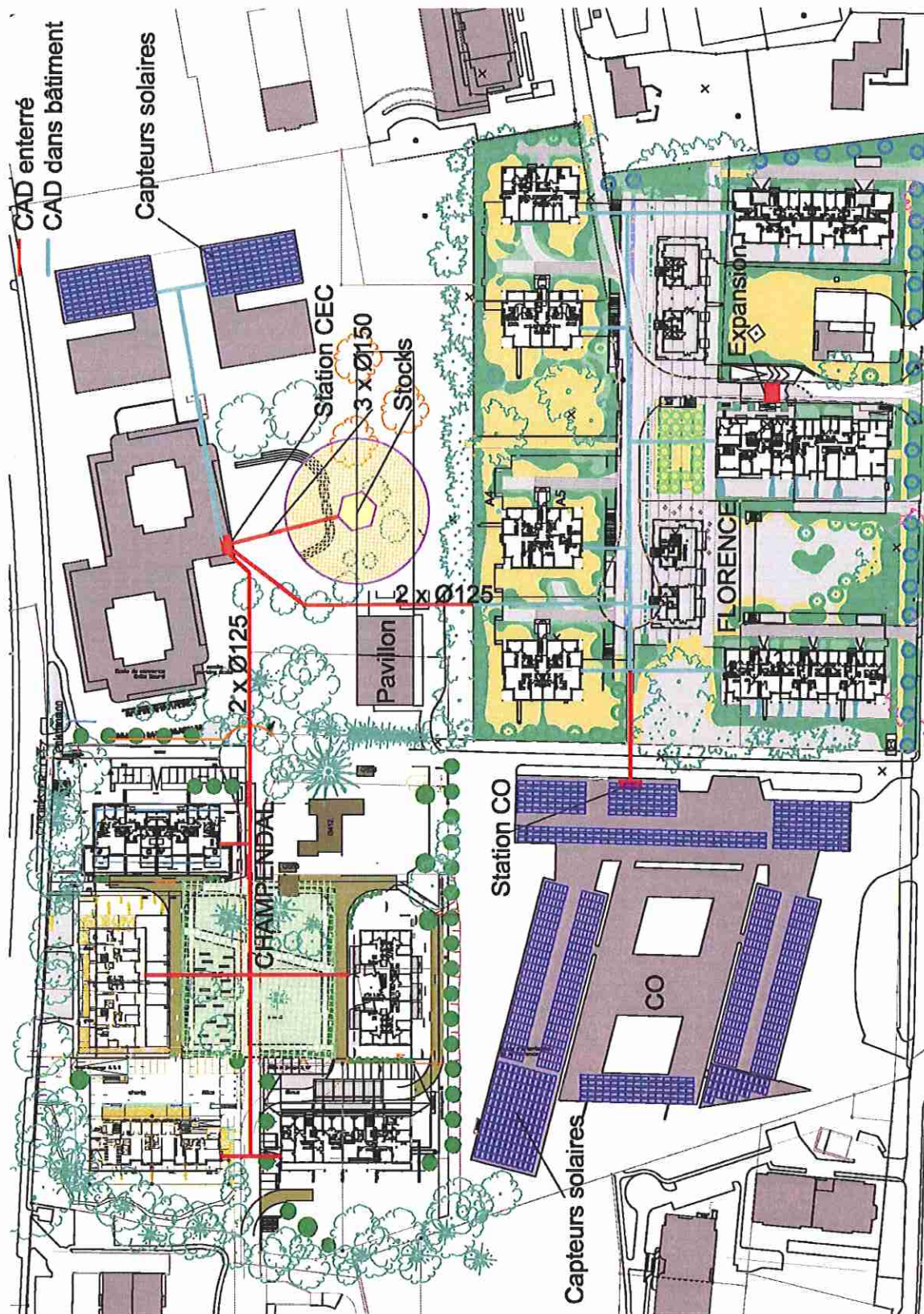
Les projets immobiliers des quartiers de Florence et de Champendal à Genève sont des constructions neuves abritant 393 logements sur une surface brute de 61 000 m² de plancher chauffé. Le projet de chauffage pour ce quartier consiste dans la réalisation d'une installation solaire thermique avec stockage saisonnier de la chaleur dans un stock en terre. La surface totale de capteurs solaires thermiques prévue est de 4 500 m², dont 3 000 m² sur les toits existants des Ecoles de CO Florence (ci-après CO) et CEC Emilie Gourd (ci après CEC) et 1 500 m² sur les toits des bâtiments des nouveaux quartiers.

Le stockage annuel de la chaleur est assuré à l'aide d'un stock en terre constitué d'un champ de 300 sondes géothermiques d'une longueur de 30 m, correspondant à un volume total de 45 000 m³, et situé dans le parc du complexe scolaire. En outre, un stock de chaleur journalier constitué de sept cuves de 40 m³ d'eau est placé au centre du stock en terre.

La chaleur générée par l'installation solaire et accumulée dans le stock en terre est distribuée via un réseau de chauffage jusqu'aux sous-stations d'échanges situées dans les bâtiments de logements. Le système permet après 5 ans d'exploitation (mise en température du stock) d'assurer un appoint de chaleur correspondant à une couverture de 75% des besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire des logements. L'appoint de chaleur est réalisé à l'aide de chaudières à gaz autonomes par bâtiment.

Le plan général, en page suivante, représente le quartier alimenté par ce système de chauffage solaire :

- les bâtiments raccordés des quartiers de Florence et de Champendal;
- les stocks saisonnier (en terre) et journalier, dans le parc du CEC;
- les capteurs solaires sur les toits des écoles CEC et CO;
- la station CO avec l'échangeur et l'expansion des capteurs solaires du CO;
- la station CEC comprenant l'échangeur et l'expansion des capteurs solaires des salles de gymnastique du CEC, la pompe de circulation du stock en terre, et les dispositifs de drainage et de levage du couvercle de la chambre des réservoirs;
- le CAD (chauffage à distance) reliant les stations CEC et CO, les stocks journaliers et saisonniers, les utilisateurs;
- le local d'expansion du CAD et des stocks installé dans sous-sol des immeubles d'habitation de la Florence.



Plan général - Quartier solaire Florence- Champendal

2.2 Objectifs

Les objectifs des Maîtres de l'Ouvrage étaient les suivants :

- réaliser deux quartiers d'immeubles de logements à basse consommation d'énergie, répondant aux exigences Minergie®;
- minimiser la quantité d'énergie fossile utilisée pour le chauffage des nouveaux immeubles de logements;
- respecter un cadre économique usuel pour la rétribution de l'énergie thermique fournie par le système;
- garantir l'appoint pour le chauffage et la production d'eau chaude en tout temps par l'utilisation de chaudières à gaz décentralisées par immeuble.

2.3 Parties prenantes

Les Maîtres de l'Ouvrage des PLQ Florence-Champendal : Plusieurs Maîtres de l'Ouvrage ont assuré le rôle de promotion et de financement des quartiers d'immeubles de logements à basse consommation. Dans le contexte de ce projet, les Maîtres de l'Ouvrage prenaient un engagement de raccorder leurs immeubles au réseau de distribution de chauffage et d'acheter la chaleur fournie à un tarif contractuel.

ScanE : le Service Cantonal de l'Energie a accompagné le projet de stockage saisonnier de chaleur solaire en finançant l'avant-projet sommaire et en accordant des subventions pour la réalisation des installations de production de chaleur.

OFEN : l'Office Fédéral de l'Energie a soutenu ce projet financièrement dans le cadre de son programme de soutien aux projets pilotes et de démonstration en complément et coordination avec le financement cantonal réalisé par le ScanE.

DCTI (nouvellement DU) : le département en sa qualité de propriétaire et de gestionnaire des bâtiments scolaires de l'Etat de Genève avait prévu de mettre à disposition ses toitures pour la pose des capteurs solaires, ainsi que le terrain nécessaire à la construction du stockage saisonnier. Il voulait dans un premier temps bénéficier de l'énergie produite pour les cycles d'orientation (besoin en haute température), mais s'est rétracté afin de ne pas péjorer l'approvisionnement énergétique des bâtiments du quartier (en basse température) sur la base de l'offre budgétaire SIG.

DIP : le département d'instruction publique en sa qualité d'utilisateur des bâtiments scolaires voulait être partie prenante du projet pour communiquer sur le projet auprès des élèves, mais aussi pour garantir que le projet n'allait pas péjorer l'environnement de qualité actuel et notamment les arbres existants et garantir la sécurité des occupants.

SIG : les Services Industriels de Genève a été sollicité par le ScanE pour assurer la maîtrise d'ouvrage, le financement et l'exploitation du système de production, de stockage et de distribution de la chaleur solaire, jusqu'aux sous-stations des immeubles de logements dans le cadre d'une offre en contracting énergétique.

BG Ingénieurs Conseils : BG a réalisé l'étude de faisabilité, l'avant-projet sommaire puis l'avant-projet définitif des installations de production, de stockage et de distribution de chaleur (thermique et génie civil). Sous la supervision de SIG, il a été le coordinateur des sous-traitants mentionnés ci-après.

Base Consultant : J.-C. Hadorn a fourni les conseils méthodologiques et technologiques lors de l'étude préalable, piloté les simulations thermiques et effectué l'évaluation technique et financière.

SUPSI (TI) : dimensionnement du système par simulations thermiques dynamiques du système de chauffage solaire avec stockage en terre.

Geomod : ce bureau a effectué les calculs thermiques et thermomécaniques du stock en terre.

EPFL LMS : Le laboratoire de mécanique des sols de l'école polytechnique fédérale de Lausanne a réalisé les prélèvements dans le sol sur la parcelle pressentie pour le stock en terre et a analysé les caractéristiques thermomécaniques du sol en question.

KMS architectes urbanistes : L'architecte des PLQ Florence-Champendal a réalisé l'intégration architecturale et aménagements extérieurs nécessaires aux installations du stock saisonnier. Il a étudié les mesures conservatoires dans les bâtiments en construction.

2.4 Déroutement

2.4.1 Technique

La démarche a consisté à confirmer une faisabilité par étape en s'appuyant

- sur des études théoriques, regroupant différents experts;
- sur les expériences et visite des rares projets existants.

L'objectif était d'identifier et de maîtriser à chaque stade, les risques qui apparaissaient prépondérants avant de passer à l'étape suivante; cette approche classique de faisabilité ayant pour but de libérer les investissements par étape. Un rappel de la chronologie des études est donné ci-après.

La première étape, sur mandat des Maîtres de l'Ouvrage du PLQ de la Florence, a consisté en une étude préliminaire des options énergétiques possibles pour le quartier. Le stock en terre ayant été identifié comme potentiellement intéressant, un forage géotechnique a été réalisé à la demande du géologue cantonal pour évaluer les risques de pollution de la nappe par le stock. Il a également permis de déterminer les caractéristiques géologiques et thermiques du terrain.

La deuxième étape de cette démarche, sur mandat du ScanE, a consisté en la réalisation d'un avant-projet sommaire fin 2008¹. Cet avant-projet sommaire a mis l'accent sur la performance du concept thermique, notamment par l'élaboration des simulations thermiques. Il recense les surfaces de toiture à disposition ainsi que l'implantation possible du stock. Il articule une première estimation des coûts.

¹ Doc. BG "Avant-projet sommaire" N° 6614.04-RN005 de novembre 2008

Ce rapport conclut que les études menées jusqu'ici ne condamnent pas la faisabilité et qu'il est nécessaire de déclencher une 3^{ème} phase d'études afin de lever le doute sur les risques qui subsistent et notamment :

- Autorisation : le service nature et paysage doit être consulté au sujet de l'abattage nécessaire des arbres sur le futur stock; pour la protection des arbres et le suivis (mesures) du comportement de la végétalisation au dessus et au périmètre du stock
- Coût : les coûts d'installations doivent être affinés, notamment ceux des capteurs solaires qui représentent un grand poste de dépenses, ainsi que les coûts d'exploitation;
- Partenaires : le DCTI se dit favorable à une mise à disposition de son terrain/ses bâtiments mais une convention est à formaliser;
- Stock en terre : la stabilité thermomécanique du sol argileux doit être évaluée sur la base de l'analyse par l'EPFL d'échantillons de sols prélevés sur site et d'une simulation numérique; L'implantation du stock doit tenir compte de sa taille critique (géométrie à fixer en fonction des contraintes);
- Capteurs solaire : vérifier la résistance des toitures et confirmer les surfaces disponibles et des possibilités de passages hydrauliques;
- Volumes techniques: l'implantation des réservoirs tampon et des volumes techniques doivent être recensés et disponibles dans les immeubles de logements à alimenter;
- L'optimisation du projet: compte tenu des différentes opportunités et contraintes relevées à ce stade du projet, une optimisation des différents paramètres doit être opérée (énergies, températures, volumes, etc).

Fin 2009, un plan d'affaire a été constitué par SIG avec l'aide de BG pour l'estimation du montant des investissements et de l'énergie produite pour les requêtes en subventions. L'année 2010 a été une année de stand-by pour les études techniques, consacrée par les SIG au financement et la commercialisation de l'opération. Mais aussi pour négocier avec les associations faitières comme l'ASLOCA pour accepter la répercussion des prix de la chaleur sur les locataires.

En 2011, les SIG ont sollicité BG pour finaliser l'avant-projet définitif. Ce rapport a permis de préciser :

- que le service nature et paysage était favorable au projet sous réserve de mise en place de mesures et de suivi;
- que les toitures avaient la capacité à supporter les panneaux solaires;²
- que les coûts d'investissements étaient plus importants que ceux estimés en 2009 ceci par augmentation de la précision demandée et par l'intégration de travaux complémentaires. De l'ordre de 3,5 MCHF HT, ces éléments et leur évaluation financière sont détaillés au §2.4.3;
- que la simulation de la déformation mécanique du terrain prédisait des déformations importantes. Sur ce point, BG a proposé pour conclure définitivement sur une faisabilité technique de réaliser une étape supplémentaire de tests in situ et de développement d'un modèle numérique plus fin, car l'avis des experts était que la simulation réalisée était conservatrice (voir trop conservatrice).

² Doc. BG "faisabilité d'installations de panneaux solaires en toiture – Etudes statiques" N° 6614.06-RN015 d'octobre 2011

Les SIG, après consultation des différentes parties prenantes, ont alors tranché en estimant que ces deux derniers points condamnaient le projet et en conséquence renonçaient à poursuivre les études sur le comportement thermomécanique du sol..

Une chronologie détaillée des principaux faits de ce projet est donnée en annexe 5.

2.4.2 Simulations

Les simulations étant essentielles à la planification de ce type de projet, nous avons jugé utile de donner les détails ci-dessous précisant les hypothèses, méthodes et résultats.

2.4.2.1 Simulation dynamique des performances thermiques du stock

Le dimensionnement du système complet a été effectué par une simulation dynamique des performances thermiques. Le modèle de simulation utilisé est celui développé et exploité par M. D. Pahud du SUPSI, qui utilise une représentation simplifiée du stock en terre.

2.4.2.2 Simulation thermomécanique du stock

Logiciel et hypothèses

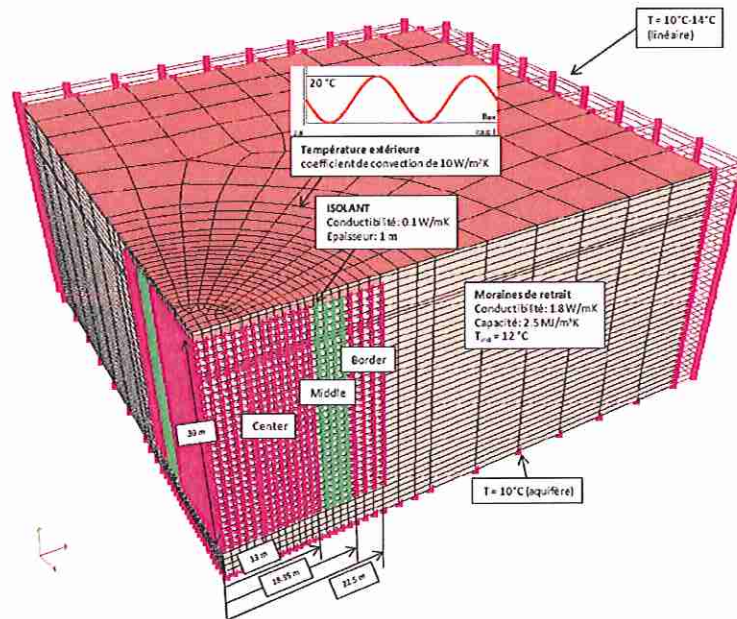
La simulation du comportement thermomécanique du stock en terre a été réalisée par Geomod à l'aide de Z_Soil v11, logiciel de calcul par éléments finis³. Le modèle utilisé est un modèle thermo-élastique qui décrit le comportement de contraction ou de dilatation volumique des sols sous l'effet de la variation de température en utilisant des paramètres élastiques.

Le quart du stock est modélisé en 3D sur le logiciel Z_soil par une géométrie cylindrique de 45 m de diamètre et de 30 m de profondeur. Dans le modèle, les sondes ne sont pas modélisées explicitement mais globalement avec des variations de températures qui sont introduites de manière cyclique.

Les variations de températures extérieures journalières fournies par M. D. Pahud étaient imposées au modèle sur deux années consécutives (voir figure ci-dessous).

Les températures intérieures au niveau de la zone de stockage ont été imposées aussi cycliquement en deux endroits : au centre de la zone et sur les bords.

³ Doc. Geomod "Comportement du stock en terre" N° M729 de mai 2008, mis à jour en octobre 2011



Les paramètres thermiques adoptés dans le modèle sont issus des mesures in situ obtenues par le test de réponse thermique du terrain effectué par le LMS (EPFL) en septembre 2007. Ces paramètres sont :

- Conductivité thermique moyenne du sol, $\lambda_s = 1.8 \text{ W / m.K}$
- Capacité thermique volumique, $C_v = 2.5 \text{ MJ / m}^3.\text{K}$
- Conductivité thermique de l'isolant, $\lambda_i = 0.1 \text{ W / m.K}$

Quant aux coefficients de contraction et de dilatation thermique, ils ont été proposés sur la base de valeurs disponibles en littérature, soit $\alpha = -3 \times 10^{-4}$ pour la contraction et $+3 \times 10^{-5}$ pour la dilatation avec des déformations au centre de la zone de stockage estimés à 1 %.

Résultats

Les résultats de la simulation ont fait apparaître des tassements verticaux et horizontaux au niveau de 10 points [2] :

- A1 à A5 situés en surface;
- B1 à B5 situées à 6 m de profondeur.

La distance de ces points au centre de la zone de stockage ainsi que les tassements obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous :

| Points | En surface | | | | | A 6 m de profondeur | | | | |
|---|------------|------|----|----|------|---------------------|------|----|-----|------|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 |
| Distance par rapport au centre de la zone de stockage (m) | 0 | 22.5 | 30 | 45 | 67.5 | 0 | 22.5 | 30 | 45 | 67.5 |
| Tassement max. après 2 cycles (cm) | 44 | 25 | 13 | 4 | 0.7 | 38 | 21 | 11 | 2.2 | 0.0 |

Les résultats des tassements obtenus au niveau des points A_i et B_i sont reportés sur un plan de situation (cf. annexe 1). Il est observé que :

- le pavillon scolaire existant subirait des tassements différentiels importants (environ 7 cm selon le modèle);
- les bâtiments La Florence et le bâtiment scolaire Emilie Gourd subirait des tassements différentiels de 2 à 3 cm;
- l'immeuble Champendal et son parking ne seront pas affectés.

L'interprétation de ces résultats a été formalisée par BG⁴. Elle dépend largement du modèle et des paramètres utilisés. En effet, le modèle adopté est un modèle simple qui n'intègre pas de paramètres de plasticité et qui ne prend pas en considération l'état de consolidation initial des sols en place. Il s'agit toutefois de données indispensables pour la compréhension du comportement thermique du sol.

D'autre part, les résultats des essais triaxiaux en compression hydrostatique ont montré un comportement contractant irréversible du sol sous un chargement thermique. En d'autres termes, le sol a un comportement thermo-élastoplastique et non pas thermo-élastique.

Aussi, il apparaît que le comportement thermique cyclique des sols est un comportement à écrouissage cinématique, ce qui veut dire que le sol gagne de la résistance avec les cycles de réchauffement et de refroidissement et donc qu'il s'agit d'un comportement qui limite les déformations avec le temps. Ce phénomène n'est pas pris en considération dans le modèle proposé surtout que les températures journalières ont été imposées au modèle, une hypothèse qui ne prend pas en considération le bilan thermique des sols mais suppose plutôt que le sol est un milieu continu capable de stocker indéfiniment la chaleur.

Une meilleure modélisation consisterait à imposer un flux thermique et non pas des températures.

En résumé

- L'état de consolidation des sols en place à partir des essais oedométriques n'a pu être déterminé puisque les échantillons ont subi un gonflement au moment de leur saturation. Dans tous les cas, les paramètres utiles à l'interprétation des essais en fonction de la température ne peuvent pas être déterminés ni utilisés en l'état. En annexe 2 figure la procédure théorique de prélèvement d'échantillons et conservation de ceux-ci.
- A partir des essais triaxiaux, il a été constaté que l'ordre de grandeur des tassements attendus au centre de la zone de stockage est inférieur à 1% et différenciés en profondeur (0.6% à 0.9%).

⁴ Doc. BG "Analyse des essais en laboratoire et du modèle aux éléments finis" – N° 6614.06-RN016 de novembre 2011

- Le modèle simplifié aux éléments finis de Geomod donne des résultats qui ne tiennent pas compte de l'ensemble des paramètres du vrai comportement thermique des sols en place et ceci pour les raisons suivantes :
 - absence d'un couplage thermomécanique avec prise en considération de l'état de consolidation initial des sols en place;
 - les essais triaxiaux ont montré un comportement thermoplastique des sols;
 - le phénomène d'érouissage cinématique (phénomène limitant les déformations thermiques cycliques) lors du réchauffement cyclique des sols pendant toute la durée de vie de l'ouvrage n'est pas considéré dans le modèle.

Propositions

Compte tenu de cette situation, il a été proposé de mieux comprendre le phénomène thermique des sols à court et à long terme d'une part et de mieux estimer les champs de répartition des températures et des tassements attendus autour de la zone de stockage, selon le programme suivant :

- Déterminer les paramètres comportementaux par des essais en laboratoires :
 - essais de gonflement à l'oedomètre suivis par essais de consolidation;
 - essais de chargement thermique cyclique à l'oedomètre (étude de l'érouissage cinématique);
 - essais de fluage thermique à l'oedomètre.
- Utiliser un modèle avancé type THM avec une analyse énergétique (flux imposés). En fonction du gonflement ou non des argiles, les modèles ACMEG-T ou ACMEG-TS de l'EPFL seront utilisés.

Ces propositions n'ont pas été réalisées suite à la décision d'abandon du projet.

2.4.3 Economique

Les installations et les honoraires ont été chiffrés. Il en a résulté un montant d'investissement total estimé en novembre 2011 de 9,8 MCHF HT

Une première estimation des coûts avait été faite en octobre 2009 à 6,3 MCHF HT. La hausse de 3,5 MCHF HT du montant d'investissement est principalement due à une sous-estimation à l'ajout de nouveaux postes et à la sous-estimation de certains postes. Les écarts sont précisés ci-dessous :

- Travaux de structure du stock saisonnier et du stock journalier (armature des sondes, chambre de tassement), d'aménagements extérieurs (problématique des arbres et des mesures de suivis, adaptation du théâtre de verdure), d'installation de chantier (piste d'accès, locaux et protection provisoires) : + 1 130 kCHF HT
- Réseau CAD et sous-stations immeubles (intégration de tous les travaux hors lot chauffage, station d'expansion et de traitement d'eau, complément des sous-stations d'immeubles) : + 825 kCHF HT
- Travaux d'électricité (raccordement électrique) : + 260 kCHF HT
- Travaux renforcement des structures des bâtiments scolaires et des immeubles de Florence concernés (évalués sur une première réflexion des tassements différentiels) : + 800 kCHF HT
- Divers et imprévus (poste non prévu dans la première évaluation) : + 485 kCHF HT

Cette évolution des coûts est due principalement à :

- A la qualification du comportement thermomécanique du sol en 2^{ème} étape de chiffrage et de ses conséquences structurelles sur les sondes, le stock journalier, les bâtiments voisins;
- Une intégration en 2^{ème} étape uniquement dans l'équipe de planification de l'ensemble des mandataires et spécialistes;
- A une réévaluation des sous-stations solaires et des raccordements aux utilisateurs finaux.

A noter que pour ce type d'installations, les honoraires des différents planificateurs sont plus élevés que pour des prestations classiques d'équipement énergétique compte tenu de la complexité technique (tests, simulations diverses) et organisationnelle (nombreux intervenants et parties prenantes à coordonner). Ces honoraires s'élèvent à env. 20% du coût des travaux.

Afin de vérifier la viabilité économique des installations, le prix de vente du kWh thermique final a été calculé sans tenir compte des aides publiques (subventions), mais en intégrant:

- les coûts d'électricité;
- les coûts de maintenance et d'exploitation;
- l'amortissement des installations à 9,8 MCHF HT.

Il s'élève à 34.7 ct/kWh (cf. calculs en annexe 4).

2.4.4 Juridique, commercial et communication

Dans un premier temps, une revue des aspects juridiques et réglementaires du projet a été effectuée dans le cadre de l'avant-projet sommaire. Les aspects réglementaires considérés étaient liés à la pose de modules solaires thermiques sur les toitures des écoles, la réalisation d'un stock en terre dans le parc du complexe scolaire CEC E. Gourd et la possibilité d'obtenir des subventions de la part du Scan E pour la réalisation des études et du projet.

Concernant les aspects commerciaux et la communication, plusieurs séances avec les Maîtres de l'Ouvrage et les SIG ont été organisées. Les aspects principaux qui en ont résulté sont les suivants :

- La nécessité de trouver très tôt un porteur du projet (SIG), pour réaliser les infrastructures énergétiques doit être trouvé très tôt afin de piloter, coordonner les études approfondies et proposer au Maître de l'Ouvrage une solution énergétique intégrée.
- L'exigence d'une vision en coûts globaux de long terme de la vente des énergies pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (amortissement des investissements, énergies, entretien et exploitations, rapportés en ct/kWh) pour comparer différentes variantes techniques et de valider la pertinence du concept.
- L'engagement combiné de toutes les parties prenantes (SIG, MO, ScanE, mandataires, entreprises) pour permettre de suivre la dynamique du projet global et des projets individuels, même dans une même démarche apprenante (technique et économique). En l'espèce une charte a été signée en juillet 2009 par l'ensemble des parties prenantes au projet précisant les engagements de chacun (cf. annexe 7)

2.4.5 Références de projets existants

- Neckarsulm en Allemagne : http://www.energie-cites.org/db/neckarsulm_140_fr.pdf

Une visite du site et une comparaison ont été faite avec Neckarsulm¹. Cette comparaison a permis d'une part de confirmer le caractère plausible du taux de couverture solaire calculé pour le projet de Florence et, d'autre part, de confirmer l'importance capitale de veiller attentivement à ce que la chaleur soit distribuée à une température la plus basse possible. La performance de Neckarsulm était diminuée par la nécessité d'alimenter le CAD à 75 °C et donc de compléter la chaleur fournie par le stock par une PAC

- Drake landing Solar Community au Canada : <http://www.dlsc.ca>

Un échange téléphonique a eu lieu avec MM. Bruce Sibbitt, Natural Resources Canada (NRC), M. Alexis Minkoff, FM Travaux et Maître d'ouvrage du quartier de la Florence et Mme Sophie Durandeu, SIG (voir minute de cet échange en annexe 6).

Le projet canadien a été dimensionné pour les besoins de chauffage seulement (sans l'ECS). Il est mentionné l'importance de l'adéquation basse température du stock et les besoins des bâtiments. Un accent particulier doit être mené sur les simulations des comportements du stockage saisonnier. M Sibbitt a fait référence aux mêmes experts sollicités dans notre projet.

1 – cf rapport d'avant-projet sommaire BG de décembre 2008

3. Enseignements du projet

3.1 Technique

3.1.1 Données techniques de base

Dans le cadre de l'avant-projet⁵, le dimensionnement technique des installations a été effectué. Ces travaux permettent aujourd'hui de fournir un certain nombre de ratios permettant une première approche d'un nouveau projet du même type. Les ratios principaux sont donnés dans la table ci-dessous

| Ratio | Valeur | Unité |
|---|--------|---------------------------------------|
| Energie nécessaire chauffage & ECS (Minergie) | 41 | kWh/m ² _{SRE} /an |
| Puissance nécessaire chauffage & ECS (Minergie) | 20 | W/m ² _{SRE} |
| Surface nécessaire capteurs solaires plans vitrés | 3,7 | m ² capt/kWpuiss |
| Volume du stock journalier | 80 | l/m ² capt |
| Volume du stock en terre | 10 | m ³ /m ² capt |
| Longueur de sondes | 2 | m/m ² capt |
| Taux de couverture solaire | 75 | % |

En annexe 3, figure les bases de calculs de dimensionnement du stock en relation avec les différents paramètres physiques (énergie, température).

3.1.2 Contraintes

Dans le cadre des études du projet Florence-Champendal, un certain nombre de limites et contraintes techniques ont été identifiées, synthétisées ci-dessous :

3.1.2.1 Immeubles à chauffer

Les immeubles qui seront raccordés au système de chauffage à partir du stock en terre doivent obéir à certaines contraintes :

- Les bâtiments doivent en principe être conçus pour une basse consommation d'énergie, p.ex. Minergie, ou Minergie-P et la distribution de chauffage doit impérativement être à basse température (chauffage au sol ou dalle active). Cette contrainte permet d'exploiter le stock en terre sur une large fourchette de température.
- Les bâtiments doivent être conçus de manière à optimiser l'intégration de capteurs solaires thermiques, principalement sur les toitures plates ou orientées Sud-Est, Sud et Sud-Ouest et éventuellement sur les façades bien orientées. Les installations techniques (ventilations, machines de froid, etc.) ne devraient pas être installées en toiture.

⁵ Doc. BG "Quartier Solaire Florence-Champendal – Avant-projet" N° 6614-RN013 AP de novembre 2011

3.1.2.2 Modules solaires

Les modules solaires sont des capteurs solaires vitrés plan. Ils sont en principes installés sur les toitures des bâtiments existants ou à construire. Ils peuvent toutefois aussi être installés contre des façades verticales ou des parapets de balcons, voire éventuellement au sol. Dans tous les cas, les surfaces pouvant accueillir les capteurs solaires doivent être suffisantes et vont conditionner le taux de couverture solaire et la faisabilité du projet.

Dans le cas de modules solaires posés en toiture ou en façade des bâtiments, une étude de statique doit être entreprise afin de vérifier la résistance des structures à la surcharge due aux capteurs. La possibilité de pose de modules solaires doit aussi être vérifiée sous l'angle de la protection du patrimoine (bâtiments protégés).

Dans le cadre du projet de Florence – Champendal, environ 6 500 m² de toitures des bâtiments existants sont susceptibles de pouvoir recevoir des panneaux solaires. En raison des ombres portées par les arbres et par certains bâtiments, la surface nette de capteurs pouvant être installée représente 46 % de la surface de toitures disponibles.

3.1.2.3 Stock en terre

Le stock en terre représente probablement la plus grande contrainte du système et doit être étudié le plus tôt possible dans le projet. Le stock en terre nécessite une surface de terrain disponible et non construite à proximité des bâtiments à chauffer, et qui ne pourra en principe pas être utilisé comme zone à construire.

Concernant le terrain envisagé pour la réalisation du stock en terre, celui-ci pose un certain nombre de contraintes :

- Le forage des sondes géothermiques doit être autorisé du point de vue de la protection des eaux souterraines.
- Les caractéristiques du sous-sol doivent être compatibles avec un concept de stock en terre. La présence d'une nappe phréatique en mouvement ne permet en particulier pas un stockage annuel de chaleur. La composition du sous-sol doit être étudiée et les paramètres tels que la capacité calorifique et la conductibilité thermique sont déterminants pour la faisabilité du projet.
- Selon le type de sol, le chauffage du sous-sol induit une dilatation ou une rétraction du volume et donc une modification de niveau du sol. Ce phénomène peut avoir un effet néfaste pour des bâtiments qui seraient situés à proximité du stock en terre (déformation, fissures). La constitution du sol doit donc être étudiée avec soin. Des essais en laboratoire pour caractériser le comportement mécanique du terrain sont indispensables. On veillera à ce que les échantillons prélevés soient correctement conditionnés. Le stock en terre devrait en principe être situé à plus de 50 m des premières constructions. De plus, la tête des sondes géothermiques doivent être équipées d'une chambre de tassement conçue de manière à reprendre les variations de niveau du sol.
- Le terrain pressenti pour la réalisation du stock en terre ne devrait pas comporter d'arbre de valeur dont l'abattage serait problématique. En particulier, la distance minimale à respecter entre le stock et la limite du couronnement des arbres est de 6 mètres, faute de quoi l'élévation de température au niveau des racines des arbres est néfaste. La valeur des arbres sur la parcelle prévue pour le stock en terre doit être déterminée par un contact avec l'autorité responsable de la nature.

Une fois réalisé, le stock en terre peut être revégétalisé avec des plantes et arbustes. Un suivi de la température au niveau des racines des arbres de valeur à proximité du stock en terre peut s'avérer nécessaire.

Il découle de ce qui précède qu'une situation décentralisée et périurbaine du projet est généralement plus favorable qu'une situation urbaine.

3.1.2.4 Stock journalier

Le rôle du stock journalier est d'accumuler les apports des capteurs solaires concentrés sur les heures diurnes et de charge par transfert pendant 24 heures par jour le stock saisonnier. Cette charge lente permet de réduire le nombre de sondes d'échange forcées dans le stock en terre. Comme tampon, il régularise également la décharge du stock saisonnier pour alimenter les utilisateurs de chaleur en hiver. Il est constitué en principe par des cuves remplies d'eau qui sont idéalement installées au centre du stock en terre ce qui évite de devoir les isoler thermiquement.

La solution à retenir doit répondre aux exigences des performances thermique et hydraulique, de la stabilité de la construction avec le tassement de la terre, de l'exploitation et de l'entretien, avec un coût de réalisation modéré.

3.2 Economique

3.2.1 Données économiques de base

Dans le cadre de l'avant-projet, le chiffrage des installations a été effectué. Le tableau ci-dessous donne un aperçu des principaux ratios économiques obtenus :

| Ratio coûts | Valeur | Unité |
|--|--------|---|
| Aménagements extérieurs | 6 | CHF/m ³ stock terre |
| Installations de chantier | 3 | CHF/m ³ stock terre |
| Réservoirs journaliers incluant chambre | 2 600 | CHF/m ³ |
| Stock en terre, y c. travaux GC, drainage, isolation | 35 | CHF/m ³ stock terre |
| Capteurs solaires ⁶⁷ | 550 | CHF/m ² capteur |
| Surface de toiture nécessaire | 1,7 | m ² /m ² de capteur |
| Sous-stations solaires, expansion et traitement eau | 250 | CHF/m ² capteur |
| Chauffage à distance, y c. fouille | 750 | CHF/m lin. (2 tubes) |
| Sous-stations immeubles | 70 000 | CHF/sous-stat. |
| Supervision | 75 000 | CHF |
| Coût global de la chaleur solaire + appoint gaz | 32 | ct/kWh _{th} |
| Coût global de la chaleur solaire uniquement | 34 | ct/kWh _{th} |

Le coût global donné ce dessus ne tient pas compte de subvention, intègre un taux d'intérêt de 5%, un amortissement des installations technique (panneaux solaires, chaufferies gaz) sur 25 ans, du stock en terre sur 30 ans et du CAD sur 50 ans.

⁶ Doc. BG "Consolidation prix capteur solaires" N° 6614.06-DO005 de septembre 2011

⁷ Doc. BG "Comparatif prix capteurs solaires" N° 6614.06-RN017 de novembre 2011

Les éléments techniques caractérisant ces ratios sont donnés en annexe 4

Ces ratios permettent d'établir un budget préliminaire d'une installation de même type dans le cadre d'une étude de faisabilité. Attentions toutefois aux facteurs d'échelle si la dimension du projet change significativement.

3.2.2 Contraintes

Les contraintes économiques du système de stock en terre sont synthétisées ci-dessous :

- L'investissement total pour le système complet, de l'ordre de 140 CHF/m²_{SRE}, est important, environ 3,3 fois plus élevé que pour un système conventionnel de chauffage au gaz avec production solaire d'ECS. Cet investissement doit être pris en charge par le Maître de l'Ouvrage ou par une société d'investissement tierce.
- Pour se rapprocher d'une installation conventionnelle en termes de coût global de la chaleur, il est nécessaire de pouvoir compter sur des subventions publiques. Le montant des subventions peut différer significativement d'un canton ou d'une ville à l'autre.
- A ce stade du développement de ce type de concept, le coût de la chaleur résultant est de l'ordre de 30 à 35 ct/kWh, donc supérieur au coût de la chaleur fournie par une installation conventionnelle au gaz + préchauffage solaire ECS (coût global de l'ordre de 16 ct/kWh). L'obtention de subventions peut toutefois contribuer à diminuer le coût du système. A noter aussi que la comparaison est faite au coût actuel du gaz, mais que celui-ci va vraisemblablement augmenter dans les années à venir. Le coût additionnel pour le système de chauffage solaire avec stock en terre représente un surcoût de l'ordre 3% sur le montant des loyers.
- Enfin les études (thermiques, simulations, géotechnique, environnement, aménagements extérieurs, pilotage, etc.) nécessaires pour le développement de ce type de projet pilote nécessitent des montants d'honoraires plus élevés que d'ordinaire. Il faut prévoir une enveloppe de l'ordre de 20% du montant des travaux (cf. annexe 4).

3.3 Organisation

Afin de pouvoir mener un projet de chauffage solaire avec stockage saisonnier en terre, il est nécessaire de regrouper dès le démarrage du projet une équipe pluridisciplinaire composée principalement des interlocuteurs suivants :

- **Maître de l'Ouvrage des bâtiments** : selon la situation du projet, il peut s'agir de plusieurs Maîtres de l'Ouvrage. La Maître de l'Ouvrage est en principe propriétaire du terrain, ou alors a contractualisé l'usage du terrain.
- **Architecte** : l'architecte prend en charge tous les aspects architecturaux des bâtiments à construire, en coordination avec les MO, ainsi que l'intégration des éléments et locaux techniques sur la parcelle.
- **Bureau d'Ingénieurs** : le bureau d'ingénieurs prend en charge les études techniques, depuis la phase d'étude de faisabilité jusqu'à la réalisation des équipements techniques.
- **Sous-traitants spécialistes** : le bureau d'ingénieurs peut s'appuyer sur des bureaux spécialisés en hydrogéologie, en géotechnique, en modélisation thermique dynamique du stock en terre (CVSE, génie civil), en essais en laboratoires et en modélisation de la performance du système géotechnique.

- **Société d'exploitation** : le Maître de l'Ouvrage peut s'appuyer sur une société d'exploitation pour la réalisation et l'exploitation des installations techniques de production, stockage et distribution de la chaleur (soit en sous-traitance, soit en contracting).
- **Autorités** : il est important d'intégrer les Autorités au plus tôt dans le projet, de leur présenter tous les aspects du projet.

Afin d'améliorer les chances de succès du projet, le Maître de l'Ouvrage peut faire appel à un représentant, spécialisé dans le domaine de la construction, qui aura comme mission d'identifier et contacter tous les intervenants nécessaires, définir l'organisation du projet, et d'une manière générale conduire le projet.

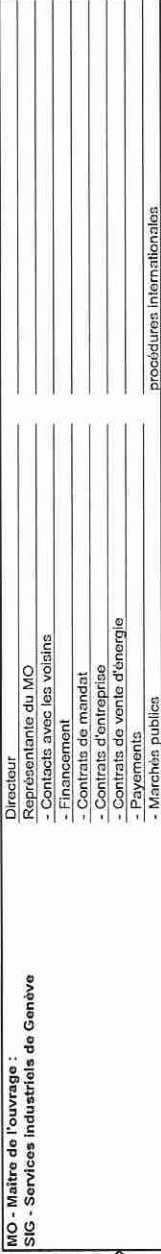
Vous trouverez ci-dessous un organigramme type pour ce genre de projet.



Quartier solaire Florence - Champendal - Rapport de retour d'expérience

20

Organigramme



| Tâches | Management de projet | Geotechnicien | Architecte | Ingénierie chauffage et régulation |
|--------|--|--|---|--|
| | <p>MO - Maître de l'ouvrage : SIC - Services Industriels de Genève</p> <p>Directeur - Contacts avec les voisins - Financement - Contrats de mandat - Contrats d'entreprise - Contrats de vente d'énergie - Paiements - Marchés publics</p> <p>MP - manager de projet - Gestion budgétaire - Planning des études et de la réalisation - Procédure d'appel d'offres et d'adjudication - Contrats d'entreprise - Direction générale des travaux - Suivances MO - Suivances mandataires - Information - Contrôles</p> <p>Geotechnicien Contrat direct avec MO</p> <p>Architecte Contrat direct avec MO</p> <p>Projet d'implantation des capteurs, stocks et CAD - Plan d'implantation</p> <p>Demandes de permis - Préconsultations des services cantonaux et communaux - Demarches administratives - Récupération des documents, constitution du dossier - Suivi de la demande jusqu'à l'obtention du permis - Arborisation, aménagement paysager - Concept (avec archi paysagiste), plan d'enquête - Préparation du dossier d'appel d'offres, devis - Plan d'exécution - Direction générale de l'exécution (direction locale par BG) et suivi des travaux - Réception, travaux de garantie - Contrôle des factures et décompte final</p> <p>Raccordements intérieurs aux bâtiments - Projet de passage des conduites y compris les percements des toitures et des murs extérieurs, devis - Projet du local de la sous-station - Projet du local pour l'expansion et le traitement d'eau du CAD</p> <p>Dossiers d'appel d'offres pour les corps de métier autres que génie civil, structures porteuses et CRE - Planification et coordination de l'ensemble des travaux dans les immeubles en construction et dans des bâtiments existants - Direction générale et locale de ces travaux - Réception, travaux de garantie - Contrôle des factures et décompte final</p> | <p>Caractérisation du terrain (prélèvements de carottes et analyses en laboratoire) Simulation du comportement thermomécanique du terrain (risque de pollution de l'eau potable, risque de migration d'eau à travers le stock)</p> <p>- Remise à l'architecte du plan cadastral des réseaux souterrains - Plan cadastral d'implantation des stocks et du CAD - Mise en place des points de référence pour l'exécution. - Mise à jour du plan cadastral</p> <p>Arborisation</p> <p>Installations de chauffage et de régulation - Direction locale des travaux d'exécution du CAD et des raccordements extérieurs entre capteurs et sous-stations solaires</p> | <p>GC et direction locale des travaux</p> <p>synthèse des devis, suivi des paiements et du budget élaboration, suivi suivi, coordination des dossiers et des négociations suivi administratif, avenants extérieurs aux bâtiments, coord. avec architectes direction de séance, préparation, CR contacts et documents: DCTI, voisins, partenaires déroulement des tâches</p> <p>GC et direction locale des travaux</p> | <p>Ingénierie chauffage et régulation</p> <p>Ss-traitants experts</p> <p>Installations CER du quartier solaire, ingénierie selon SIA 108</p> <p>- Capteurs, stock journalier, stock saisonnier et forages, liaisons hydrauliques, sous-stations solaires, sous-stations des utilisateurs, chaleur à distance, expansion, MCR, racc électriques correspondants</p> <p>3.31 Avant-projet - Concept, coûts - Préconsultation des pouvoirs publics - Organisation, calendrier 4.32 Projet de l'ouvrage - Etudes de détail, détermination des équipements - Préparation de documents 4.41 Appels d'offre - Choix des lots et du mode de consultation, devis - Préparation des plans, schémas et descriptifs - Analyse des offres, proposition d'adjudication - Préparation des contrats 4.51 Projet d'exécution - Calculs définitifs et plans d'exécution - Schémas hydrauliques, régulation et mesurage 4.52 Exécution de l'ouvrage - Participation à l'établissement du planning - Suivi et contrôle des travaux - Vérifications et réceptions partielles - Contrôle des situations et factures 4.53 Mise en service, achèvement - Vérifications et mise en service des installations - Vérification des dossiers de l'ouvrage - Réception, suivi des travaux de garantie - Décompte final</p> |

4. Approche méthodologique

Le chapitre suivant constitue une proposition d'une approche méthodologique pour aborder un nouveau projet de chauffage solaire avec stockage saisonnier en terre de la chaleur.

4.1 Objectifs et hypothèses de travail

Le premier travail dans le cadre d'un nouveau projet est de définir avec le Maître de l'Ouvrage les objectifs du projet et les hypothèses de travail. Les points suivants doivent être abordés :

- Quel est l'objectif en termes de performance énergétique des bâtiments à construire ou à raccorder ?
- Quels sont les objectifs pour le système de production de chaleur ? (production 100% solaire ? Ou 100% renouvelable ? Appoint par gaz, mazout, bois ?)
- Quels sont ses objectifs en termes de réduction des émissions de gaz à effets de serre ?
- Quelle est la rentabilité attendue sur les fonds propres investis dans le projet ?
- Quel est le taux d'intérêt considéré sur les emprunts hypothécaires ?
- Quel est le surcoût admissible pour le système de capteurs solaires et stockage en terre par rapport à une variante conventionnelle de chauffage ? (en termes d'investissement et de coût de la chaleur)

4.2 Etudes

4.2.1 Choix du site

Le choix du site est d'une importance prépondérante pour la suite du projet. Il doit notamment être fait en tenant compte des critères suivants :

- Disposer d'une surface de terrain suffisante pour implanter le stock en terre, dont les bordures doivent être à une distance d'au moins 50 m des premiers bâtiments;
- Le terrain ne doit pas comporter d'arbre de valeur ou présenter un biotope d'intérêt particulier; dans tous les cas, un contact avec les autorités responsables de la nature et du paysage devrait être prise afin de déterminer la valeur des arbres sur ou à proximité du stock en terre ainsi que les mesures de suivi exigées;
- Le terrain choisi pour le stock en terre ne convient pas à la construction d'ouvrages ultérieure.

4.2.2 Etudes techniques et administratives

Le déroulement des études devrait suivre les recommandations de la norme SIA 108. L'étude de faisabilité revêt toutefois une importance particulière, elle devrait comprendre les points suivants :

- Etude des contraintes administratives et juridiques;
- Calcul des besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire de la part des bâtiments qui seront raccordés au système. Pour des constructions neuves, concept de construction (efficacité énergétique) et de distribution de la chaleur (chauffage au sol, dalle active, etc.);
- Dimensionnement du champ de capteurs solaires thermiques et du stock en terre selon un objectif de taux de couverture solaire;
- Choix du système fournissant l'appoint de chaleur (chaudière à gaz, à bois, pompe à chaleur, etc.);
- Vérification de la faisabilité statique de la surcharge en toiture due aux capteurs solaires;
- Analyse des caractéristiques hydrogéologiques, thermiques et thermomécaniques du terrain pressenti et évaluation de la faisabilité du stock en terre;
- Tracé préliminaire du réseau de distribution de chauffage;
- Description du système et schémas de principe;
- Chiffrage des installations et calcul économique.

4.2.3 Calculs économique

Le calcul économique a pour but de calculer le coût de la chaleur fournie aux consommateurs, en comparaison avec le coût de la chaleur fournie par d'autres systèmes (p.ex. gaz ou mazout). Le calcul économique comprend en principe les étapes suivantes :

- Rassemblement des données économiques nécessaires :
 - Chiffrage complet des installations selon chapitre 4.2.2
 - Coût des énergies d'appoint (gaz, plaquettes ou pellets de bois, mazout)
 - Coût de l'électricité
- Calcul des coûts d'exploitation du système solaire avec stock en terre et comparaison avec d'autres systèmes :
 - Coûts des énergies
 - Frais de maintenance, d'exploitation et d'administration
 - Amortissement et frais financiers
 - Assurances, taxes, impôts, intérêts intercalaires
- Calcul du coût de la chaleur. Deux coûts de la chaleur doivent être calculés: le coût du kWh fourni aux usagers (coût du mix solaire + appoint) et le coût du solaire seul, soit le kWh délivré aux bornes du stock dans le réseau. Ceci est une recommandation des groupes de travail de l'AIE car on sépare ainsi les coûts de combustible fossile qui vont évoluer dans le futur des coûts initiaux, principalement ceux de l'installation solaire.
- Calcul du surcoût de la chaleur rapporté aux montants des loyers.

4.3 Partenaires et organisation

Les partenaires habituellement concernés à la réalisation du projet de chauffage solaire avec stock en terre sont mentionnés au chapitre 3.3.

La première étape du projet consiste à rencontrer le ou les Maîtres de l'Ouvrage afin de déterminer avec eux les objectifs du projet, comme décrit au chapitre 4.1. Le choix des partenaires et l'organisation du groupement doit être discuté, en particulier nommer un représentant du Maître de l'Ouvrage et un Chef de Projet. Le Chef de Projet prend en charge l'organisation des séances et la planification des études et de la réalisation. Le bureau d'architecte et le bureau d'ingénieur qui vont prendre en charge les études de projet doivent être choisis, en fonction de leur expérience et la matière.

Très en amont dans l'élaboration du projet, il est conseillé de rencontrer les Autorités (Commune, Service de l'Energie, service concerné par la nature) afin de leur exposer les grandes lignes du projet et d'évaluer avec eux les contraintes et les possibilités de subventions.

Si une solution de financement externe des installations de production de chaleur est envisagée, ce partenaire doit être identifié et approché, par exemple les services industriels, une société électrique ou un opérateur dans le domaine du chauffage.

Enfin, le Maître de l'Ouvrage peut s'adjoindre les services d'une assistance à Maître de l'Ouvrage (facilitateur) dont le rôle sera d'aider le Chef de Projet à identifier les partenaires nécessaires à la réalisation du projet et faciliter les relations avec chacun.

4.4 Communication

La réalisation d'un projet de chauffage solaire avec stock en terre représente pour un Maître de l'Ouvrage un potentiel d'image très positive auprès des actionnaires, des futurs locataires ou copropriétaires et auprès des Autorités. Les particularités suivantes peuvent être mise en valeur :

- Production de chaleur essentiellement d'origine renouvelable, suivant le taux de couverture et le combustible d'appoint choisi;
- Système autarcique dans la mesure du taux de couverture solaire avec stockage de la chaleur sur le site, donc moins de risque en cas de coupure généralisée du gaz ou de l'électricité (p. ex. période de conflit);
- Le coût de la chaleur produite par le système reste stable durant toute la durée de vie des installations (25-35 ans), alors que le coût des énergies fossiles et de l'électricité risque d'augmenter significativement durant les prochaines années.

La communication autour du projet doit toutefois être organisée avec soin, notamment en ce qui concerne les impacts suivants qui peuvent être considérés comme négatifs :

- L'occupation pour le stock en terre d'un terrain qui peut représenter un intérêt écologique ou comporter des arbres devant être abattus. A noter qu'après réalisation du stock en terre, celui-ci n'a pratiquement aucun impact visuel et les aménagements extérieurs peuvent reproduire un biotope particulier ou une zone de détente (prairie, parc, etc.). Une étude faune/flore peut éventuellement s'avérer nécessaire si un doute existe quant à la valeur écologique de la parcelle ou si celle-ci est requise par les Autorités.

- L'impact possible sur la nappe phréatique : l'étude de sol doit être conduite avec soin et preuve doit être apportée qu'il n'y aura aucun impact sur la qualité de la nappe phréatique en sous-sol.
- Le mouvement du sol induit par la contraction ou la dilatation du stock en terre peut impacter négativement des constructions situées dans un rayon trop faible. L'étude de sol répondra à la question de savoir dans quel rayon les constructions ne peuvent pas être tolérées.
- L'impact visuels du champ de capteurs solaires : s'ils sont correctement intégrés sur des toitures plates ou des toitures à pans, l'impact visuel des capteurs solaires n'est pas significatif, sauf éventuellement dans une zone d'intérêt ou sur des bâtiments protégés. Cet aspect est à prendre en compte et à étudier dans le cadre du projet. Selon les contraintes du projet, un champ de capteurs solaires au sol est aussi envisageable, dont l'impact visuel et l'emprise sur le terrain sont plus importantes. Dans ce cas, une étude d'impact est à prévoir.

4.5 Contraintes administratives

Les contraintes administratives devraient en être étudiées dès l'étude de faisabilité. Ces contraintes peuvent être de plusieurs ordres :

- Contraintes sur le mode constructif selon la performance énergétique envisagée (SIA380/1, Minergie, etc.), donc contrainte sur la performance thermique de l'enveloppe, le système de ventilation, le type d'appoint de chauffage);
- Contraintes administratives sur l'utilisation et l'affectation du terrain, en particulier coefficient d'utilisation du sol;
- Contraintes liées à la présence d'arbres, de flore ou de faunes protégés;
- Acceptation de mise en place des sondes géothermiques dans le terrain;
- Contraintes liées à la protection des monuments et sites;
- Servitudes liées au terrain (passage de véhicules lourds, routes et chemins d'accès, voirie et réseaux, etc.).
- Obligation de contracter une assurance couvrant les éventuels cas de dommage en phase de travaux et en phase d'exploitation
- Obligation de respecter l'ensemble des normes de sécurité en phase de réalisation et d'exploitation.

4.6 Risques

Les principaux risques identifiés dans le cadre du montage d'un projet de chauffage solaire avec stock en terre sont les suivants :

- Etude des contraintes administratives révélant des éléments bloquants pour le projet;
- Etude de sol révélant une nature du sol inappropriée pour la réalisation d'un stock en terre;
- Etude faune/flore révélant un terrain présentant un intérêt écologique ou la présence d'espèces protégées;
- Etude de structure indiquant l'impossibilité des toitures existantes de supporter la surcharge des capteurs solaires;

- Etude technique révélant une insuffisance de la surface pouvant accueillir des capteurs solaires ou de la surface pouvant accueillir le stock en terre, en fonction de la demande de chaleur globale et du taux de couverture du projet;
- Bâtiments existants ou à construire situés dans un rayon du stock en terre dont l'étude de sol révèle un risque de mouvement;
- Etude économique concluant à un montant d'investissement excessif ne pouvant pas être pris en charge par le Maître de l'Ouvrage ou à un surcoût du prix de la chaleur ne pouvant pas être justifié auprès de futurs locataires ou copropriétaires.

4.7 Proposition de plan de travail.

Sur la base de l'expérience acquise, on peut proposer le plan de travail chronologique suivant qui permet d'éliminer progressivement les risques du "plus probable et important" au "moins probable et mineur". Ce plan reprend les éléments listés dans les paragraphes ci-dessus

Etape 1 : faisabilité technique du stock saisonnier

| Tâche | • Qui |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Disposer de consommateurs de chaleur potentiels et intéressés, suffisamment importants et pour lequel la conception des bâtiments répond à un haut standard de performance énergétique avec distribution en basse température pour le chauffage | <ul style="list-style-type: none"> • MO |
| <ul style="list-style-type: none"> • Constituer un groupe de travail multidisciplinaire complet selon le § 3.3 du présent rapport | <ul style="list-style-type: none"> • MO |
| <ul style="list-style-type: none"> • Evaluer les grandes caractéristiques du projet à l'aide d'indicateurs et ratios (besoins globaux pour le chauffage et l'ECS, m² de panneaux solaire, puissance thermique à installer) afin de déterminer les surfaces de panneaux à installer et le volume du stock (cf. paragraphes 3.1.1. et 3.2.1) | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur thermicien, architectes |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier la possibilité d'implanter les panneaux solaires sur les toitures existantes ou à construire | <ul style="list-style-type: none"> • Architecte + ingénieur |
| <ul style="list-style-type: none"> • Disposer d'une surface de terrain suffisante pour implanter le stock en terre, dont les bordures doivent être à une distance d'au moins 50 m des premiers bâtiments | <ul style="list-style-type: none"> • MO, architectes |

| | |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Première qualification de la nature géologique du sous-sol (capacité thermique, mécanique pour forage et tassement potentielle, présence d'eau ou risque d'infiltration) sur la base du registre des sondages à proximité • Vérifier que la création du stock ne présente pas de risque inacceptable de pollution de la nappe phréatique | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur géotechnicien + autorités compétentes |
| <ul style="list-style-type: none"> • Accepter que le terrain choisi pour le stock en terre ne convienne pas à la construction d'ouvrages ultérieure à la verticale de celui-ci | <ul style="list-style-type: none"> • MO |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vérifier que le terrain ne comporte pas d'arbre de valeur ou ne présente pas un biotope d'intérêt particulier interdisant la réalisation d'un stock | <ul style="list-style-type: none"> • Architecte + autorité responsable de la nature et du paysage |
| <ul style="list-style-type: none"> • Trouver un porteur de projet, équipementier ou société d'exploitation (comme SIG) qui prenne le projet à ce stade d'avancement. Ceci peut se faire par un appel d'offre à intérêt | <ul style="list-style-type: none"> • MO |
| <ul style="list-style-type: none"> • Etude des contraintes administratives et juridiques avec les différentes parties prenantes dans le périmètre restreint et élargi du projet | <ul style="list-style-type: none"> • MO – société d'exploitation |
| <ul style="list-style-type: none"> • Demande de subvention pour l'étude de faisabilité | <ul style="list-style-type: none"> • MO – Société d'exploitation |
| <ul style="list-style-type: none"> • Calculs, avec logiciel réglementaire (SIA 308/1), des besoins de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire de la part des bâtiments qui seront raccordés au système. Pour des constructions neuves, concept de construction (efficacité énergétique) et de distribution de la chaleur (chauffage au sol, dalle active, etc.) | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur thermicien+ Architecte |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vérification de la place disponible pour placer les capteurs solaires et de la faisabilité statique compte tenu de leur surcharge s'ils sont placés en toiture | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Civil + Architecte, + Ingénieurs thermiciens |
| <ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation thermique du terrain | <ul style="list-style-type: none"> • Entreprise de forage pour création de la sonde géothermique+ laboratoire spécialisé en caractéristique et comportement thermique et thermomécanique (LMS/EPFL) des sols |

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Dimensionnement du stock en terre selon un objectif de taux de couverture solaire grâce à une simulation thermique | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur+ spécialiste en modélisation du comportement thermique des sols (SUPSI) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Vérification sur la base de cette caractérisation du terrain et d'une simulation thermomécanique que les déformations du terrain induites par le stock sont acceptables | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Géologue, Ingénieur Energie, Spécialiste simulation (ex : Geomod) |
| <ul style="list-style-type: none"> • Calculs technico-économiques pour évaluer l'intérêt économique du projet. Coûts annuels moyens et calculs des coûts de production de l'énergie en ct/kWh. Ceci permettant de faire une comparaison à d'autres systèmes énergétiques conventionnels | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur thermicien |
| <ul style="list-style-type: none"> • CONCLUSION SUR LA FAISABILITE ETAPE 1 | |

Etape 2 : faisabilité technique du stock journalier, du CAD, du système d'appoint de chaleur

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Choix d'implantation et dimensionnement préliminaire du stock journalier | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Energie+ Architecte |
| <ul style="list-style-type: none"> • Choix du système fournissant l'appoint de chaleur (chaudière à gaz, à bois, pompe à chaleur, etc.), dimensionnement préliminaire et implantation | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Energie + société d'exploitation |
| <ul style="list-style-type: none"> • Tracé préliminaire du réseau de distribution de chauffage; dimensionnement et implantation des sous-stations | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Energie + Géomètre + Architecte + Société d'exploitation |
| <ul style="list-style-type: none"> • Description du système et schémas de principe; définition des interfaces CAD/Utilisateurs | <ul style="list-style-type: none"> • Ingénieur Energie + Société d'exploitation |
| <ul style="list-style-type: none"> • CONCLUSION SUR LA FAISABILITE ETAPE 2 | |



Etape 3 : faisabilité économique et financière

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Chiffrage du stock, des panneaux solaires, du CAD, des Sous-stations | <ul style="list-style-type: none">• Ingénieur Energie+ Ingénieur Civil |
| <ul style="list-style-type: none">• Chiffrage du gros œuvre, des installations de chantier | <ul style="list-style-type: none">• Ingénieur Civil |
| <ul style="list-style-type: none">• Chiffrage des lots architecturaux, des aménagements extérieurs | <ul style="list-style-type: none">• Architecte |
| <ul style="list-style-type: none">• Plan financier ou plan d'affaire, évaluation du prix de vente du kWh en intégrant les incertitudes inhérentes au stade précoce des études. Demande de subvention cantonale et fédérale | <ul style="list-style-type: none">• Société d'exploitation / MO |
| <ul style="list-style-type: none">• CONCLUSION SUR LA FAISABILITE ETAPE 3 | |

Etape 4 : offre commerciale et contrat

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none">• Elaborer une offre commerciale et obtenir un engagement formel (convention) des différents acteurs (fournisseurs, consommateurs, propriétaires, pouvoirs publics) à participer au projet – sous réserve des incertitudes non encore levées à ce stade du projet | <ul style="list-style-type: none">• MO +société d'exploitation |
|---|--|

Etape 5 : Elaboration du projet des ouvrages et mise à l'enquête

Etape 6 : Signature des contrats de fourniture d'énergie et toutes conventions juridiques nécessaires à la maîtrise des risques de réalisation

Etape 7 : Elaboration des soumissions et adjudication des travaux

Etape 8 : Réalisation des travaux

Etape 9 : Exploitation et optimisation

5. Conclusions

La technologie de production de chaleur solaire avec stockage saisonnier en terre présente des aspects très positifs en termes de taux de couverture par des énergies renouvelables et par son caractère autarcique. Elle est parfaitement en phase avec les objectifs de politique énergétiques en termes d'utilisation rationnelle de l'énergie et la production d'énergie renouvelable locale.

Dans notre cas, les études n'ont pas permises d'aboutir sur la réalisation concrète du stockage, mais un certain nombre d'enseignements sont à retenir pour des projets de quartiers dans leur phase de conception énergétique territoriale.

Ces enseignements sont en termes d'aide au dimensionnement, d'analyse de contraintes et de risques.

Parmi les contraintes identifiées figure la nécessité de pouvoir implanter les capteurs solaires thermiques en suffisance et le besoin d'un terrain pour le stock en terre dont les caractéristiques du sous-sol sont favorables : L'ensemble des capteurs solaires nécessaires à la production de chaleur doit pouvoir être implanté sur ou à proximité du site, et les toitures doivent pouvoir résister à la surcharge correspondante. Ce terrain ne doit pas être aux abords immédiats de bâtiments existants ou à construire à cause des mouvements du terrain résultant de la variation de température dans le stock. Ce terrain ne doit pas non plus comporter d'arbres de valeur ou composer un biotope à protéger.

Au niveau économique, le système représente un investissement important et le coût résultant de la chaleur est aujourd'hui environ deux fois plus élevé que pour le gaz. Toutefois, ce surcoût de l'énergie ne représente que de l'ordre de 3% du montant des loyers et peut donc se justifier dans le cadre d'un projet à vocation environnementale.

L'ensemble des partenaires doit être impliqué dès le début et acquis au projet, en particulier le Maître de l'Ouvrage, les bureaux d'architecte et d'ingénieurs, les Autorités, le service de l'énergie et les organismes financiers. La conduite du projet et la communication autour du projet doivent être soignées. Enfin, un certain nombre de risques identifiés peuvent se révéler bloquant pour la réalisation du projet, ces risques pouvant être d'ordre technique, administratif ou financier.

BG retiendra l'essentiel de ses enseignements pour déployer ce savoir-faire dans d'autres cas plus propices au développement de cette technologie.



6. Annexes

Annexe 1 : Plan de situation avec identification des tassements

Annexe 2: Procédure théorique de prélèvement et de conservation d'échantillons

Annexe 3 : Calculs et dimensionnement du stock

Annexe 4 : Données de base des ratios

Annexe 5 : Chronologie

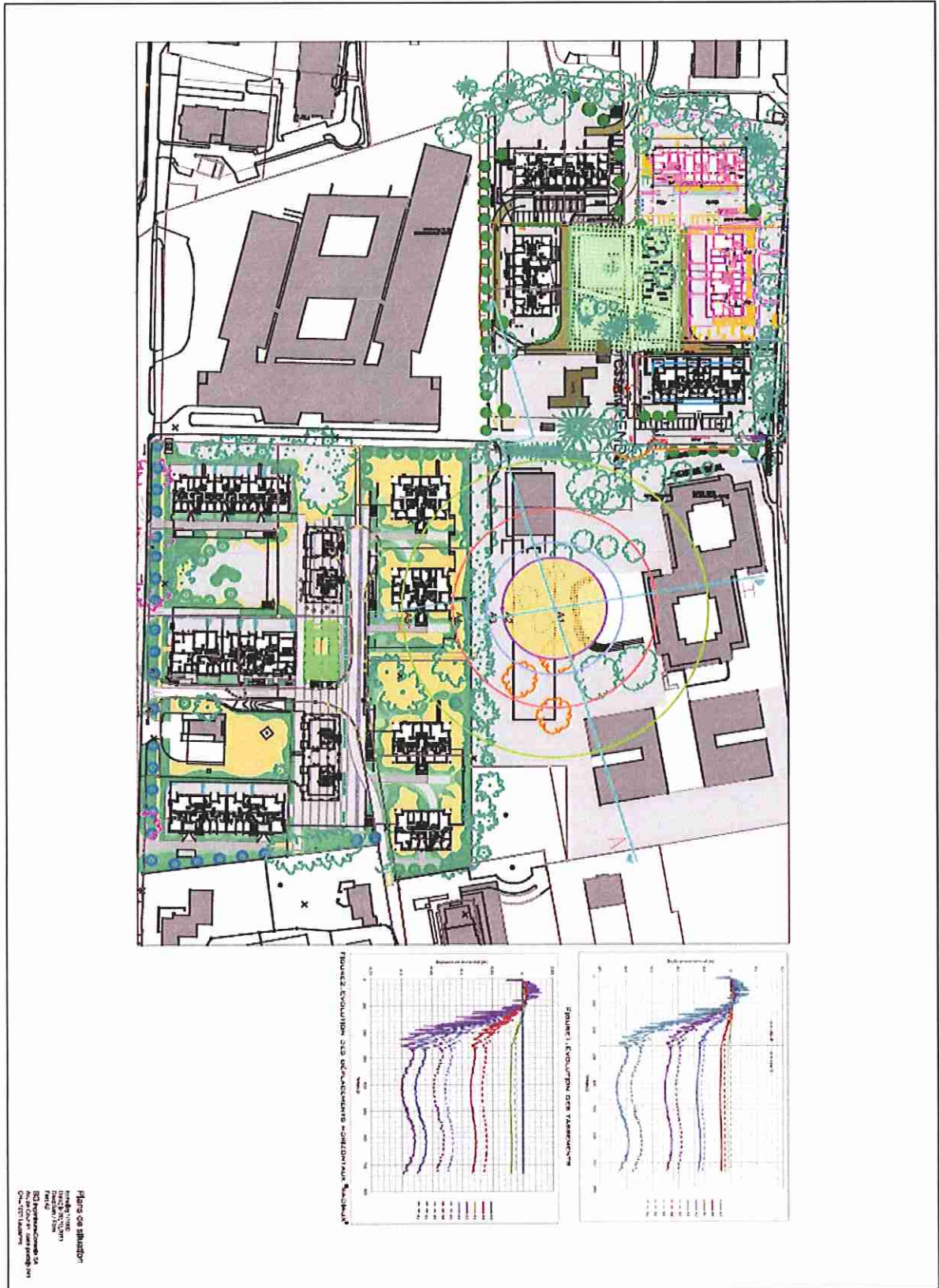
Annexe 6 : Résumé de la conversation téléphonique concernant le projet de stockage solaire saisonnier de Drake Landing Solar Community au Canada

Annexe 7 : Charte d'engagement des différentes parties au projet de stockage saisonnier



Annexe 1

Plan de situation avec identification des tassements et plans des coupes





Annexe 2

Procédure théorique de prélèvement et de conservation d'échantillons

Méthode de prélèvement et de conservation des échantillons

Les méthodes de prélèvement adoptées dans le cas des sols fins doivent prendre en considération les deux objectifs suivants:

- moindre remaniement des échantillons pendant leur forage, leur découpage et leur transport vers le laboratoire;
- conservation des caractéristiques initiales des échantillons par paraffinage puis par filmage (film en plastique) des carottes sur place après forage, découpage et étiquetage.

Dans tous les cas, la qualité de l'opération résulte à la fois de la combinaison du procédé utilisé pour la mise en œuvre de:

- 1) l'outil de prélèvement d'une part (puits, tranchée, fouille et galerie, forage manuel (tarière, carottier enfoncé à la main), forage par poinçonnement (par percussion ou battage, par pression), forage par rotation,
- 2) des outils (blocs découpés à la main, boîtes de prélèvements, carottiers poinçonneurs, carottiers rotatifs, etc.
- 3) du savoir-faire du personnel face à un contexte géologique et hydrogéologique propre à chaque site.

La procédure de prélèvement doit être conforme aux normes en vigueur avec l'accord de l'ingénieur et du responsable des essais en laboratoire.

Une quantité suffisante d'échantillons sera prélevée afin de pouvoir déterminer les caractéristiques initiales des échantillons (teneur en eau, densités sèches et humides, indice des vides et Limites d'Atterberg) une fois déposés au laboratoire et avant leur conservation.

Si possible, des essais oedométriques à température ambiante et dans les conditions initiales de terrain seront aussi effectués afin de repérer un potentiel de gonflement des échantillons au moment de la réalisation des essais prévus dans le cadre du projet.

Enfin, les échantillons seront conservés dans une chambre para-humide et hermétique.



Annexe 3
Calculs et dimensionnement du stock

Comportement du stock solaire thermique

L'état du stock thermique est déterminé en tous temps par une quantité de chaleur (Q_t^{stock}) et une température de fonctionnement (T_t^{stock}) qui permettent de satisfaire la demande ($\dot{Q}_t^{demande}$) étant donné l'offre ($\dot{Q}_{offre,t}^{stock}$) et les pertes thermiques ($\dot{Q}_{pertes,t}^{stock}$), comme montré dans la Figure 1. Lorsque l'offre est trop importante par rapport à la demande et à la capacité de stockage, la chaleur excédentaire ($\dot{Q}_{evac,t}^{stock}$) doit être évacuée.

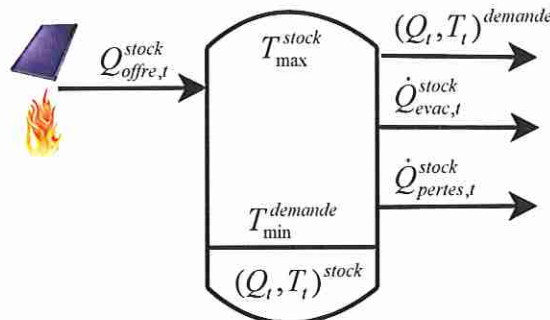


Figure 1: Modèle de stock thermique

La quantité de chaleur et le niveau de température de fonctionnement du stock sont liés par les bilans thermiques (1) à (3) qui dépendent :

- de la surface de panneaux solaires installés qui déterminent puissance solaire utile captée ($\dot{Q}_t^{solaire}$);
- du volume de stockage (\dot{V}^{stock});
- de la stratégie d'opération adoptée qui vise à minimiser l'usage de la puissance d'appoint ($\dot{Q}_t^{appoint}$).

$$\dot{Q}_{offre,t}^{stock} = \dot{Q}_t^{appoint} + \dot{Q}_t^{solaire} \quad \text{kJ} \quad (1)$$

$$Q_t^{stock} = Q_{t-1}^{stock} + \left(\dot{Q}_{offre,t}^{stock} - \dot{Q}_t^{demande} - \dot{Q}_{evac,t}^{stock} - \dot{Q}_{pertes,t}^{stock} \right) \cdot \Delta t \quad \text{kJ} \quad (2)$$

$$Q_t^{stock} = Q_{t-1}^{stock} + \dot{V}^{stock} \rho c_p \left(T_t^{stock} - T_{t-1}^{stock} \right) \cdot \Delta t \quad \text{kJ} \quad (3)$$

On observe que la capacité de stockage/déstockage dépend du volume du stock et du niveau de température maximum admissible. La limite supérieure de température du stock (4) définit le volume minimal du stock qui permet de satisfaire les pics de demandes, sur chaque cycle de fonctionnement sans évacuation de chaleur et avec un minimum d'appoint de chaleur.

$$T_{max}^{stock} \geq T_t^{stock} \geq T_{aller,t}^{demande} \quad ^\circ\text{C} \quad (4)$$

Rendement solaire thermique

L'efficacité thermique du stockage solaire (5) est définie par le rapport entre la quantité d'énergie solaire utile captée et la demande thermique, y compris les pertes.

$$eff^{stock} = \frac{Q_t^{solaire}}{Q_t^{demande} + Q_{evac,t}^{stock} + Q_{pertes,t}^{stock}} \quad \text{°C} \quad (5)$$

Le volume de stockage dépend du choix de la périodicité adoptée (6)-(7) qui force le bouclage du bilan thermique sur chaque cycle d'utilisation entre $(t_{initial})$ et (t_{final}) .

$$Q_{t_{initial}}^{stock} = Q_{t_{final}}^{stock} + \left(\dot{Q}_{offre,t_{initial}}^{stock} - \dot{Q}_{demande,t_{initial}}^{stock} - \dot{Q}_{evac,t_{initial}}^{stock} - \dot{Q}_{pertes,t_{initial}}^{stock} \right) \cdot \Delta t \quad \text{kJ} \quad (6)$$

$$Q_{t_{initial}}^{stock} = Q_{t_{final}}^{stock} + \dot{V}^{stock} \rho c_p (T_{t_{initial}}^{stock} - T_{t_{final}}^{stock}) \cdot \Delta t \quad \text{kJ} \quad (7)$$

C'est pourquoi avec un stock de type journalier, on observe que :

- l'efficacité thermique du stock baisse lorsque la surface de panneaux solaire installée augmente, car la quantité de chaleur solaire excédentaire ne peut être stockée et est donc perdue;
- l'efficacité thermique est limitée par l'amplitude du déphasage entre l'offre et la demande sur chaque cycle.

Ainsi, pour augmenter l'efficacité du stockage solaire thermique, la périodicité, la taille du stockage et la surface de panneaux solaire thermique doivent être étendues. Le stockage solaire thermique saisonnier permet ainsi d'accroître le captage du potentiel solaire disponible.

Dimensionnement optimal des équipements

Le dimensionnement de la surface de panneaux solaires thermiques installés et du volume de stockage correspondant (\dot{V}^{stock}) résulte d'une optimisation thermo-économique qui vise à :

- minimiser la somme (8) des coûts d'investissements annualisés $(C_I \cdot \tau_{i,n})$, de maintenance et d'opération (C_O) . Ces derniers correspondent à la consommation de chaleur d'appoint.
- éviter la surchauffe du stock nécessitant l'évacuation de la chaleur excédentaire.

$$C = \left(C_I^{appoint} + C_I^{solaire} + C_I^{stock} \right) \cdot \tau_{i,n} + C_O + C_M \quad \text{CHF/an} \quad (8)$$

Le taux d'annualisation $\left(\tau_{i,n} = \frac{i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$ dépend du taux d'intérêt annuel (i) et de la durée du retour sur investissement (n) appliqué.



Annexe 4
Données de base des ratios

**"Aménagements extérieurs"**

| Aménagements extérieurs | quantités | prix unitaire | CHF |
|--|----------------------|-----------------------|----------------|
| Arbres | | | |
| Abattage, évacuation | 11 p | 300 CHF/p | 3 000 |
| Taxe compensatoire d'abattage | 11 p | 5 000 CHF/p | 55 000 |
| Protections arbres | 10 p | 200 CHF/p | 2 000 |
| Suivi de la végétation | | | 10 000 |
| Total | | | 70 000 |
| Théâtre de verdure | | | |
| démontage, remontage | | | 60 000 |
| Plantations, semis, pavés gazon | | | |
| Remblais | | | |
| Stock en terre, terre végétale | 1 430 m ² | 20 CHF/m ² | 29 000 |
| Chemin d'accès, pavés gazon | 1 200 m ² | 35 CHF/m ² | 42 000 |
| Semis | | | |
| Chemin d'accès | 1 200 m ² | 15 CHF/m ² | 18 000 |
| Zone de stockage temporaire de terre | 1 600 m ² | 15 CHF/m ² | 24 000 |
| Tranchées CAD | 1 800 m ² | 15 CHF/m ² | 27 000 |
| Largeur | 4 m | | |
| | 7 200 m ² | | 140 000 |
| Total | | | 270 000 |

**"Installations de chantier"**

Une piste d'accès est requise pour les camions, foreuses et camions grues.

| Installation de chantier | | | | CHF/m³ | CHF |
|--|---------|-------|----------------------|--------------------------|----------------|
| Piste d'accès | | | | | |
| Décapage terre végétale | | 0.3 m | 360 m ³ | 6 CHF/m ³ | 2 160 |
| Géotextile | | | 1 200 m ² | 6 CHF/m ² | 7 200 |
| Grave, fourniture, mise en place | | 0.4 m | 480 m ³ | 50 CHF/m ³ | 24 000 |
| Grave, enlèvement, évacuation | | | 480 m ² | 30 CHF/m ³ | 14 400 |
| Total | | | | | 48 000 |
| Locaux | | | | | |
| Container personnel, toilettes | 11 mois | | | | 15 000 |
| Container DT | 11 mois | | | | 15 000 |
| Alimentation électrique | | | | | 3 000 |
| Raccordement eau potable | | | | | 3 000 |
| Raccordement eaux usées | | | | | 3 000 |
| Total | | | | | 39 000 |
| Protections | | | | | |
| Palissade en treillis | 400 m | 1.8 m | 720 m ² | 40 CHF/m ² | 29 000 |
| Chabouri, pour fouilles | 440 m | 2 p | | 3 CHF/m | 3 000 |
| Portail | | | | | 0 |
| Total | | | | | 32 000 |
| Total installations de chantier | | | | | 119 000 |

**"Réservoirs journaliers incluant chambre"**

Chambre des réservoirs :

Voici les caractéristiques principales de cet ouvrage avec un couvercle affleurant :

| Stock journalier | | |
|--------------------------------|----------------|-------|
| Pression d'eau nominale | bar | 2.0 |
| Nombre cuves | | 7 |
| Diamètre | m | 3.20 |
| Volume par cuve | m ³ | 37 |
| Hauteur hors fonds | m | 5.2 |
| Volume total | m ³ | 259 |
| Jeu autour des cuves | m | 0.10 |
| Jeu vertical au fond | m | 0.15 |
| Jeu vertical supérieur | m | 0.55 |
| Épaisseur isolation des cuves | m | 0.00 |
| Largeur intérieure | m | 9.12 |
| Largeur extérieure mur profond | m | 9.92 |
| Largeur extérieure margelle | m | 10.52 |
| Surface nette du local | m ² | 72.0 |
| Surface brute du local | m ² | 85.1 |
| Surface brute hors margelle | m ² | 95.8 |
| Hauteur libre du local | m | 5.90 |
| Volume net local | m ³ | 425 |
| Vol local / vol cuve | | 1.64 |
| Épaisseur murs béton | m | 0.40 |

Devis de la chambre des réservoirs :

| Travaux spéciaux | | | | | |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------|
| Palplanches | Ø 13.4 m | 10.0 m | 423 m ² | 160 CHF/m ² | 68 000 |
| Longrine annulaire | Ø 13.8 m | 120 kg/m | 5 221 kg | 3 CHF/kg | 16 000 |
| | | | | | 84 000 |
| Terrassements | | | | | |
| Volume creusé : Ø, hauteur | Ø 13.4 m | 6.45 m | 916 m ³ | 20 CHF/m ³ | 18 300 |
| Volume évacué | 85.1 m ² | 5.20 m | 443 m ³ | 40 CHF/m ³ | 17 700 |
| Volume évacué | 95.8 m ² | 1.25 m | 120 m ³ | 40 CHF/m ³ | 4 800 |
| Remblai compacté | | | 354 m ³ | 15 CHF/m ³ | 5 300 |
| Surface de stockage | 118 m ² | 3.0 m | | | |
| | | | | | 47 000 |
| Béton coulé sur place | | | | | |
| Béton maigre | 0.05 m | 134 m ² | 6.69 m ³ | 20 CHF/m ² | 2 700 |
| Coffrages | | | | | |
| Bord de radier | 0.50 m | 34.3 m | 17 m ² | 100 CHF/m ² | 1 700 |
| Mur hexagonal, ext | 4.65 m | 34.3 m | 160 m ² | 60 CHF/m ² | 9 600 |
| Mur hexagonal, ext | 1.25 m | 36.4 m | 46 m ² | 90 CHF/m ² | 4 100 |
| Mur hexagonal, intérieur | 4.90 m | 31.6 m | 155 m ² | 60 CHF/m ² | 9 300 |
| Mur hexagonal, intérieur | 1.00 m | 34.3 m | 34 m ² | 90 CHF/m ² | 3 100 |
| Fond | 95.8 m ² | 85.1 m ² | 10.6 m ² | 120 CHF/m ² | 1 300 |
| Béton armé | | | | | |
| Radier | 85.1 m ² | 0.50 m | 43 m ³ | 250 CHF/m ³ | 10 600 |
| Murs profonds | 13.2 m ² | 4.65 m | 61 m ³ | | |
| Fond de margelle | 23.8 m ² | 0.25 m | 6 m ³ | 270 CHF/m ³ | 21 000 |
| Margelle béton | 10.6 m ² | 1.00 m | 11 m ³ | | |
| Acier d'armature | 132.8 m ² | 100 kg/m ³ | 120 m³ | 1.80 CHF/kg | 21 690 |
| Réservations sortie de tubes | DN32 | | 240 p | 30 CHF/p | 7 200 |
| Réservations sortie de tubes | Ø 300 mm | | 3 p | 150 CHF/p | 500 |
| Joint reprise bétonnage radier | | 34.3 m | | 45 CHF/m ³ | 1 600 |
| Joint reprise bétonnage margelle | | 36.4 m | | 45 CHF/m ³ | 1 700 |
| Margelle béton cellulaire | 10.6 m ² | 0.70 m | 7 m ³ | 200 CHF/m ³ | 1 500 |
| Avec drainage périph. intégré | | 36.4 m | | 100 CHF/m | 3 700 |
| | | | | | 101 000 |

| Plateforme caillebotis | | | | | |
|-------------------------------------|--------|-------------------|--|------------------------|----------------|
| Structure porteuse sur réservoir | 8.62 m | 64 m ² | | 200 CHF/m ² | 12 900 |
| Caillebotis | | 64 m ² | | 150 CHF/m ² | 9 600 |
| | | | | | 23 000 |
| Total chambre des réservoirs | | | | | 255 000 |

Stock journalier :

- L'option A, référence, est celle retenue.
- La variante B ajoute l'isolation des cuves à l'option A.
- C et D prévoient des cuves enterrées.
- E occupe en partie le parking désaffecté du CEC.

Pour C, D, et E, une chambre des raccordements hydrauliques du stock en terre est aménagée au centre du stock en terre.

| Stock journalier | A | B | C | D | E |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|

| Caractéristiques | <i>selon offre de CIPAG SA</i> | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | dans le stock en terre | | | garage CEC | |
| Implantation | | | | | |
| Réservoir | sec | sec | enterré | enterré | sec |
| Position | vertical | vertical | vertical | vertical | horizontal |
| Nombre de réservoirs | 7 | 7 | 7 | 7 | 5 |
| Volume unitaire | 40.3 m ³ | 40.3 m ³ | 40.3 m ³ | 40.5 m ³ | 70.5 m ³ |
| Diamètre | 3 200 mm | 3 200 mm | 3 200 mm | 3 200 mm | 3 200 mm |
| Hauteur / longueur hors fonds | 5 500 mm | 5 500 mm | 5 500 mm | 5 500 mm | 9 315 mm |
| Matériau | acier 37-2 | acier 37-2 | acier 37-2 | acier inox | acier 37-2 |
| Traitement de surface | époxy zinc | - | bitumineux | - | - |
| Isolation | - | PU 120 mm | - | - | PU 120 mm |

| Stock journalier | A | B | C | D | E |
|------------------|---|---|---|---|---|
|------------------|---|---|---|---|---|

| Prix | | | | | |
|-------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Réservoir, par unité | 35 590 | 35 590 | 36 490 | 83 530 | 53 530 |
| Traitement surface, par réservoir | 4 600 | 0 | | | |
| Isolation, par réservoir | | 26 600 | | | 46 500 |
| Transport des réservoirs | 7 480 | 7 480 | 7 480 | 7 480 | 8 100 |
| Montage, raccordements | 10 000 | 10 000 | 10 000 | 15 000 | 10 000 |
| Réservoirs | 298 810 | 452 810 | 272 910 | 607 190 | 518 250 |
| Réservoirs | 1.06 CHF/l | 1.61 CHF/l | 0.97 CHF/l | 2.14 CHF/l | 1.47 CHF/l |
| Chambre des réservoirs | 255 000 | 277 000 | | | |
| Terrassements : | | | | | |
| Palplanches | | | 84 000 | 84 000 | |
| Volume creusé | | | 916 m ³ | 916 m ³ | |
| | | | 20 CHF/m ³ | 20 CHF/m ³ | |
| Volume évacué | | | 282 m ³ | 284 m ³ | |
| | | | 40 CHF/m ³ | 40 CHF/m ³ | |
| Remblai compacté | | | 634 m ³ | 633 m ³ | |
| | | | 15 CHF/m ³ | 15 CHF/m ³ | |
| | | | 40 000 | 40 000 | |
| Chambre de racc. du stock terre | 713 m ³ | 805 m ³ | 162 m ³ | 162 m ³ | 162 m ³ |
| Prix chambre avec couvercle | 420 CHF/m ³ | 344 CHF/m ³ | 636 CHF/m ³ | 636 CHF/m ³ | 636 CHF/m ³ |
| Prix chambre des vannes | | | 103 000 | 103 000 | 103 000 |
| Couvercle et levage hydraulique | 118 000 | 118 000 | 118 000 | 118 000 | 118 000 |
| raccordement hydr. stock journalier | 40 m | | | | 50 m |
| Tuyaux supplémentaires | 1 | | | | 2 |
| Tuyaux supplémentaires | DN 150 enterré flexible | | | | DN 150 isolé |
| Prix | 400 CHF/m | | | | 320 CHF/m |
| Prix de comparaison des racc. | 16 000 | | | | 32 000 |
| Total de comparaison | 688 000 | 864 000 | 624 000 | 958 000 | 761 000 |
| Proportion | 100% | 126% | 91% | 139% | 111% |



| Couvercle du stock journalier | | | | | |
|---|---------|-----------------------|-------------------------|--------|----------------|
| Couvercle du stock journalier | | 96 m ² | 650 CHF/m ² | | 63 000 |
| Couches et charge, dans le sens du flux de chaleur | | | | | |
| barrière de vapeur | 0.002 m | 3 kg/m ² | 1 500 kg/m ³ | 0.3 t | |
| bois | 0.027 m | 16 kg/m ² | 600 kg/m ³ | 1.6 t | |
| isolation | 0.30 m | 12 kg/m ² | 40 kg/m ³ | 1.1 t | |
| charpente | 0.16 m | 0.40 m | 6 p | 2.1 t | |
| | 9.11 m | 22 kg/m ² | 600 kg/m ³ | | |
| couche ventilée | | | | | |
| bois | 0.027 m | 16 kg/m ² | 600 kg/m ³ | 1.6 t | |
| étanchéité | 0.004 m | 5 kg/m ² | 1 200 kg/m ³ | 0.5 t | |
| garnitures périphériques | 36.4 m | 50 kg/m | | 1.8 t | |
| terre végétale | 0.16 m | 240 kg/m ² | 1 500 kg/m ³ | 23.0 t | |
| neige | | 80 kg/m ² | | 7.7 t | |
| Charge totale | | 413 kg/m ² | | 40 t | |
| Levage hydraulique | | | | | |
| 3 vérins, stabilisateurs, pompe, réservoir d'huile, liaisons station CEC-stocks, complet avec mise en service | | | | | |
| Estimation AFICOR | 39 t | | | | 55 000 |
| Total | | | | | 118 000 |

"Stock en terre"

| CHF HT | Description | Prix unitaire | Installations | Génie civil | Prix unitaire | Installations |
|--------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|
|--------|-------------|---------------|---------------|-------------|---------------|---------------|

| Stock en terre | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|--|--|--|--|--|
| Volume | 45 000 m ³ | | | | | |
| Epaisseur | 30 m | | | | | |
| Surface chambre des réservoirs | 96 m ² | | | | | |
| Surface du stock saisonnier | 1 500 m ² | | | | | |
| Surface des stocks | 1 600 m ² | | | | | |
| Diamètre du stock en terre | 45 m | | | | | |

| Terrassements et évacuation | | | | | | |
|---|----------------------|-----------------------|--|----------------|--|--|
| Décapage terre végétale | 632 m ³ | 6 CHF/m ³ | | 3 800 | | |
| Epaisseur / conductivité thermique | 0.3 m | 1.2 W/m/K | | | | |
| Surface de stockage | 211 m ² | 3.0 m | | | | |
| Volume évacué | | | | | | |
| Volume de l'isolation | 1 430 m ³ | 40 CHF/m ³ | | 57 200 | | |
| Tranchée de drainage périphérique | 65 m ³ | 40 CHF/m ³ | | 2 600 | | |
| Largeur | 0.4 m | | | | | |
| Profondeur | 1.0 m | | | | | |
| Chambre de tassement | 238 m ³ | 40 CHF/m ³ | | 9 500 | | |
| Diamètre | Ø 1.2 m | | | | | |
| Epaisseur | 0.7 m | | | | | |
| Nombre | 300 p | | | | | |
| Décapage terre argileuse | | | | | | |
| Couche des chambres de tassement | 1 125 m ³ | 6 CHF/m ³ | | 6 800 | | |
| Surface de stockage | 375 m ² | 3.0 m | | | | |
| Remblai compacté autour des chambres de tassement | 1 125 m ³ | 20 CHF/m ³ | | 22 500 | | |
| Total Terrassements et évacuation | | | | 102 000 | | |

| Drainage périphérique de l'isolation | | | | | | |
|---|-------|-----------|--|---------------|--|--|
| Drain, chemise drainante, géotextile | 163 m | 60 CHF/m | | 10 000 | | |
| Raccordement eau claire | 50 m | 100 CHF/m | | 5 000 | | |
| Drainage de l'isolation | | | | 15 000 | | |



| Isolation, étanchéité | | | | |
|------------------------------------|--------------------------|----------------------------|--|----------------|
| Barrière de vapeur | Ø 51 m | 15 CHF/m ² | | 31 000 |
| Verre cellulaire concassé compacté | 1 363 m ³ | | | |
| facteur de compactage | 1.3 | 170 CHF/m ³ | | 301 000 |
| Optimisation de l'épaisseur | | | | |
| épaisseur | 0.70 m | 0.71 m | | |
| Débordement périph. de l'isolation | 3.00 m | | | |
| Diamètre isolé | Ø 51 m | 2 043 m ² | | |
| Facteur déperditions | 0.11 W/m ² /K | 0.11 W/m ² /K | | |
| Lambda | 0.08 W/m/K | | | |
| Tint moyen | 45 °C | | | |
| Text moyen | 12 °C | | | |
| Pmoyenne | 3.63 W/m ² | 3.58 W/m ² | | |
| Pmoyenne | 7.4 kW | | | |
| Energie / an | 65 013 kWh/a | | | |
| Energie / an | 19 504 CHF | | | |
| à | 0.30 CHF/kWh | | | |
| Gain | | 0.13 CHF/m ² .a | | |
| Investissement supplémentaire | | 2.21 CHF/m ² | | |
| Rendement financier marginal | | 5.9%/a | | |
| Etanchéité à l'eau | Ø 51 m | 15 CHF/m ² | | 31 000 |
| Protection anti racine | Ø 51 m | 10 CHF/m ² | | 20 000 |
| Isolation, étanchéité | | | | 383 000 |

| Sondes forées | | option 1 | | option 2 | |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------|------------------------|---------|
| Installations de chantier du foreur | | | 1 700 | | 1 700 |
| Benne et évac. boues | | | 63 000 | | 63 000 |
| Relevé géologique | | | 470 | | 470 |
| Assurance RC du foreur | | | 368 | | 368 |
| Sondes avec tubes PE-RT | 9 000 m | DN32 x 2.9 | | DN40 x 3.7 | |
| Tubes d'eau | | 76 CHF/m | 684 000 | 83 CHF/m | 747 000 |
| Sondes en série | 5 p | | | 8 p | |
| Nbre de circuits | 60 p | | | 42 p | |
| Nbre de sondes | 300 p | | | 336 p | |
| Surface par sonde | 5.0 m ² | | | 4.76 m ² | |
| Débit nom / m ² capteur | 20 l/h/m ² | | | | |
| Perte de charge / circuit | 34 542 Pa | | | 31 803 Pa | |
| Liaisons horizontales | | 5 400 m | | 3 780 m | |
| Facteur prix catalogue | 2.00 | | | | |
| Manchon/coude à souder | 1 200 p | 18.60 CHF/p | 22 320 | 20.80 CHF/p | 24 960 |
| Total forage | | 87.45 CHF/m | | 95.81 CHF/m | |
| Débit par tube à 150 Pa/m | | 0.92 m ³ /h | | 1.69 m ³ /h | |
| Débit max sondes | | 110 m ³ /h | | 142 m ³ /h | |
| Débit total max CAD | 105 m ³ /h | | | | |
| Débit max / m ² capteur | | 24 l/h/m ² | | 31 l/h/m ² | |
| Total Sondes forées | | | 800 000 | 0 | |



| Renfort mécanique des sondes | | | | | | |
|-------------------------------------|---------|----------|----------------|--|--|--|
| Réserve budgétaire | 9 000 m | 20 CHF/m | 180 000 | | | |

| Chambres de tassement | | | | | | |
|------------------------------|-----------|--|--|----------------|--|--|
| Fourniture et pose | 600 CHF/p | | | 180 000 | | |

| Nourrices | | | | | | |
|------------------------------------|------|-----------|---------------|--|-----------|---------|
| Raccordements | | 240 p | | | 168 p | |
| vannes, section de nourrice | | 100 CHF/p | 24 000 | | 110 CHF/p | 18 000 |
| avec pose | 100% | | 24 000 | | | 18 000 |
| Total Nourrices | | | 48 000 | | | |
| Total de comparaison des variantes | | | 848 000 | | | 903 000 |

| | | | | | | |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|---|---|
| Total Stock en terre | <i>38.0 CHF/m³</i> | <i>1 708 000</i> | 1 028 000 | 680 000 | - | - |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|------------------|----------------|---|---|

"Capteurs solaires"

Les capteurs retenus sont de type plan, vitré et sélectif. Le prix comprend :

- la fourniture des capteurs et des supports;
- le transport, la livraison, le grutage, la mise en place et l'assemblage;
- la fourniture, le montage et l'isolation des tuyauteries sur toiture, reliant les capteurs au point de raccordement du champ concerné, avec la robinetterie, les soupapes de sûreté, les purges et vidanges;
- la mise en service.

"Sous-stations solaires, expansion et traitement d'eau"

Expansion du chauffage à distance

Le volume de l'expansion est ainsi calculé :

| Réseau | Florence | Champendal |
|--------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| Diamètre CAD | DN 125 | DN 125 |
| Contenance | 13.8 l/m | 13.8 l/m |
| Distance A + R | 500 m | 300 m |
| Contenance CAD | 6.9 m³ | 4.1 m³ |
| Raccordement des immeubles | 25% | |
| Stock journalier | 259 m³ | |
| Ø stock en terre | 45 m | |
| Epaisseur stock | 30 m | |
| Nombre de sondes | 300 | |
| Sondes en série | 5 | |
| Série en parallèle | 60 | |
| Tube | DN 32 | |
| Epaisseur de paroi | 2.9 mm | |
| Contenance du tube PERT | 0.54 l/m | |
| Raccordements horizontaux | 5 400 m | |
| Contenance sondes et racc. hor. | 22.3 m³ | |
| Contenance totale | 295 m³ | |
| Températures extrêmes d'exploitation | 18 °C | 100 °C |
| Volume massique de l'eau | 0.99860 | 0.95840 |
| Dilatation | 0.04020 | |
| Marge | 10% | |



| | |
|------------------------|---------------------------|
| Raccordement expansion | 0.100 m ³ |
| Volume net d'expansion | 13.1 m ³ |
| Réserve | 20% |
| Accumulation requise | 15.8 m³ |

Fournitures et prix

| Volume installé | 16 m ³ | 18 m ³ |
|-------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Pneumatex Aquapresso AU 140 | CHF 948 | |
| PNEUMATEX Transfero TPV.2 | CHF 7 025 | |
| largeur | 700 mm | |
| hauteur | 1 000 mm | |
| profondeur | 400 mm | |
| poids | 51 kg | |
| Soupape de sûreté DSV 25-3,0 DGH | CHF 311 | |
| Purgeur ZUT 20 | CHF 71 | |
| Raccordement des cuves | DN 32 | |

| | | |
|-------------------------------------|--------------------|--------------------|
| Vase pilote | TG 4000 | TG 3000 |
| contenance | 4.0 m ³ | 3.0 m ³ |
| nombre | 2 p | 2 p |
| prix | CHF 12 555 | CHF 9 731 |
| diamètre | 1 300 mm | 1 300 mm |
| hauteur | 3 550 mm | 2 890 mm |
| poids | 910 kg | 800 kg |
| Vases supplémentaires | TG 4000 E | TG 3000 E |
| contenance | 4.0 m ³ | 3.0 m ³ |
| nombre | 2 p | 4 p |
| prix | CHF 12 215 | CHF 9 391 |
| diamètre | 1 300 mm | 1 300 mm |
| hauteur | 3 550 mm | 2 890 mm |
| poids | 910 kg | 800 kg |
| Fournitures principales | CHF 45 000 | CHF 55 000 |
| Montage de l'expansion | 50% | 50% |
| | CHF 23 000 | CHF 28 000 |
| Total fournitures et montage | CHF 68 000 | CHF 83 000 |
| Surcoût avec montage, env. | | CHF 15 000 |
| Gain en hauteur du local | | -660 mm |

Remplissage et traitement d'eau

| Appareils d'expansion | | | | |
|------------------------------|--|--|-----|---------------|
| Appareils et fournitures | | | | 45 000 |
| Montage expansion | | | 50% | 23 000 |
| - | | | | 68 000 |

| Traitement d'eau | | | | |
|---------------------------------------|--|--|--|---------------|
| Appareils, fournitures et remplissage | | | | 55 000 |

| Tuyauterie | | | | |
|---|--|--|--|--------------|
| Fournitures et montage, traversées de murs intérieurs | | | | 5 000 |

| Installations sanitaires | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|--------------|
| Eau froide | | | | 1 000 |
| Vidoir, robinetterie | | | | 2 000 |
| Eaux usées | | | | 3 000 |
| - | | | | 6 000 |

| Installations électriques | | | | |
|--------------------------------------|-----------|---|-----------|--------------|
| Alimentation armoire local expansion | 1 x 230 V | | 12 A | 1 500 |
| avec sous-comptage | | | | 1 000 |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Raccordement compresseur, régulateur | 1 x 230 V | | 12 A | |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Raccordement traitement d'eau | 1 x 230 V | | 12 A | |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 2 | 1 | | |
| Total des raccordements électriques | 6 p | | 400 CHF/p | 2 400 |
| Eclairage station expansion | | | | 3 000 |
| - | | | | 8 000 |

| Sous-station MCR | | | | |
|-------------------------|--|-----|-----------|--------------|
| Points MCR | | 7 p | 500 CHF/p | 4 000 |

| Grillages local station CEC | | | | |
|------------------------------------|-------------------|------------------------|--|--------------|
| Parois grillagées et portes | 20 m ² | 150 CHF/m ² | | 3 000 |
| Porte | | | | 3 000 |
| - | | | | 6 000 |

| | | | | |
|--|--|--|--|----------------|
| Total station expansion et trait. d'eau | | | | 152 000 |
|--|--|--|--|----------------|

**Station solaire du CEC**

| Capteurs solaires CEC | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|--------------------|--------------------------|--|
| surface sur salles gymnastique CEC N | 2 | 240 m ² | 720 m ² | |
| surface sur salles gymnastique CEC S | 2 | 120 m ² | | |
| contenance capteur AZUR 8 H2.5, | 3.2 l/m ² | | 2.3 m³ | |
| puissance captée | 500 W/m ² | | 360 kW | |
| débit d'eau glycolée | 22 l/h/m ² | Ø 76.1 x 2 | 15.8 m ³ /h | |
| températures eau glycolée aller | 70 °C | | | |
| températures eau glycolée retour | 90 °C | | | |

| Raccordement hydr. capteurs CEC | | | | |
|--|-------|------------|--------------------------|--|
| racc. en toitures | 256 m | Ø 76.1 x 2 | 4.1 l/m | |
| raccordements en façade | 60 m | Ø 76.1 x 2 | 4.1 l/m | |
| distribution en sous-sol | 300 m | Ø 76.1 x 2 | 4.1 l/m | |
| contenance des raccordements | | | 2.5 m³ | |
| rapporté au contenu des capteurs | | | 109% | |

| Expansion solaire CEC | | | |
|---|--------------------|--------|---------------------------|
| volume eau glycolée à 40% glycol | | | 4.8 m ³ |
| température réf | -20 °C | 125 °C | variation |
| masse volumique eau glycolée | 1.057 | 0.965 | 0.092 |
| dilatation | | | 0.44 m³ |
| contenance des capteurs si ébullition | | | 2.3 m ³ |
| marge | 25% | | 0.7 m ³ |
| Volume total d'expansion | | | 3.4 m³ |
| Système PNEUMATEX | info@pneumatex.com | | transfero |
| Régulateur | 1 p | | Transfero TV4.1 |
| Racc. électrique / point MCR | 1 | | |
| dégazage intégré | | | compris |
| température max de service | | | 70 °C |
| prix | | | CHF 3 854 |
| largeur | | | 390 mm |
| hauteur | | | 1 000 mm |
| profondeur | | | 490 mm |
| poids | | | 32 kg |
| Vase sous pression | | | Statico SD 50.10 |
| prix | | | CHF 264 |
| diamètre | | | 536 mm |
| hauteur | | | 316 mm |
| poids | | | 12 kg |
| Vase pilote | | | TG 4000 |
| nombre | | | 1 p |
| Racc. électrique / point MCR | 1 | | |
| prix | | | CHF 13 575 |
| diamètre | | | 1 300 mm |
| hauteur | | | 3 541 mm |
| poids | | | 930 kg |
| Vase intermédiaire de refroidissement | | | DU 500.6 |
| prix | | | CHF 909 |
| diamètre | | | CHF 680 |
| hauteur | | | CHF 1 705 |
| poids | | | CHF 61 |
| Robinetterie, purges, vidanges, soupape | | | CHF 200 |
| Prix matériel expansion | | | CHF 18 802 |
| | | | 19 000 |

| Echangeur solaire | | | |
|------------------------------------|-------|-----|--------------|
| puissance | | | 360 kW |
| écart de temp. entre fluides, DTIn | | | 2 K |
| prix | brasé | 1 p | CHF 4 000 |
| | | | 4 000 |

| Circulateurs échangeur solaire | | | | |
|---------------------------------------|------------------------|--------------|-----------|--------------|
| point de fonctionnement | 15.8 m ³ /h | 40 kPa | | 7 000 |
| modèle | Grundfos | Magna 50/60F | | |
| circulateurs, fournitures | € 1 694.17 | 2 p | CHF 3 500 | |
| Racc. électrique / point MCR | 4 | 6 | | |

| Pompage stock saisonnier | | | | |
|---------------------------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|
| point de fonctionnement | 90 m ³ /h | 45 kPa | | 9 000 |
| modèle | Grundfos | UPE 120-60/F | | |
| circulateurs, fournitures | | 1 p | CHF 9 000 | |
| Racc. électrique / point MCR | 2 | 3 | | |

| Drainage du stock journalier | | | | |
|-------------------------------------|---|-----|-----------|--------------|
| Pompe à vide | | 1 p | CHF 3 000 | 5 000 |
| Racc. électrique / point MCR | 1 | 1 | | |
| Réservoir d'eau de drainage | | | CHF 1 000 | |
| Tuyauterie, accessoires | | | CHF 1 000 | |

| Appareils de régulation et compteurs | | | | |
|---|----------------------|-----------|-----------|-------|
| Vannes de champ de capteur | 8 m ³ /h | kvs = 85 | 0.9 kPa | |
| Type papillon | VKF46.50 | 4 p | CHF 300 | 1 200 |
| Servomoteur | SQL35.00 | 4 p | CHF 450 | 1 800 |
| Racc. électrique / point MCR | 8 | 12 | | |
| Vannes d'inversion 3 voies motorisées | 90 m ³ /h | kvs = 550 | 3 kPa | |
| Type rotative à secteur | VBF21.125 | 2 p | CHF 1 100 | 2 200 |
| Vannes mélangeuse 3 voies motorisées | 90 m ³ /h | kvs = 550 | 3 kPa | |
| Type rotative à secteur | VBF21.125 | 1 p | CHF 1 100 | 1 100 |
| Servomoteur | SQL33.00 | 3 p | CHF 400 | 1 200 |
| Racc. électrique / point MCR | 3 | 6 | | |
| Drainage de la chambre des réservoirs | | | | |
| détecteur d'eau sur radier | | 2 p | CHF 500 | 1 000 |
| détecteur eau réservoir sous vide | | 1 p | CHF 300 | 300 |
| vanne de vidange motorisée | | 1 p | CHF 500 | 500 |
| Racc. électrique / point MCR | 4 | 4 | | |
| Sonde d'humidité | | | | |
| chambre des réservoirs | | 1 p | CHF 300 | 300 |
| Sondes de température | | | | |
| capteurs solaires CEC | | 4 p | CHF 250 | 1 000 |
| réservoirs journalier | | 7 p | CHF 300 | 2 100 |
| stock en terre | | 20 p | CHF 300 | 6 000 |
| station CEC | | 12 p | CHF 200 | 2 400 |
| Thermostat de sécurité | | 1 p | CHF 350 | 350 |
| Sonde pression expansion solaire | | 1 p | CHF 400 | 400 |
| Racc. électrique / point MCR | 46 | 46 | | |



Quartier solaire Florence - Champendal - Rapport de retour d'expérience

57

| | | | | |
|------------------------------|---|-----|-----------|---------------|
| Compteur de chaleur | - | 1 p | CHF 3 000 | 3 000 |
| Racc. électrique / point MCR | 3 | 2 | | |
| | - | | | 22 000 |

| Robinetterie | | | | |
|----------------------------------|------------------------|--------|---------|--------------|
| Vannes d'arrêt solaire | 15.8 m ³ /h | | | |
| Vannes d'arrêt | 4 p | DN 80 | CHF 250 | 1 000 |
| Vanne anti retour | 1 p | DN 80 | CHF 350 | 350 |
| Epurateur de conduite | 1 p | DN 80 | CHF 200 | 200 |
| Purges, vidanges, soupape sûreté | 6 p | | CHF 250 | 1 500 |
| Vannes d'arrêt CAD FLO et CO | 55 m ³ /h | | | |
| Vannes d'arrêt CAD FLO et CO | 4 p | DN 125 | CHF 400 | 1 600 |
| Vannes d'arrêt Stocks | 90 m ³ /h | | | |
| Vannes d'arrêt Stocks | 5 p | DN 150 | CHF 500 | 2 500 |
| | - | | | 8 000 |

| Montage | | | | |
|--------------------------------------|--|--|------------|---------------|
| Fournitures | | | sous-total | 74 000 |
| Montage sous-station et bâtiment CEC | | | 60% | 45 000 |

| Antigel et remplissage | | | | |
|----------------------------------|---|------------|-----|---------------|
| Monopropylène Glycol mélangé 40% | | 4.50 CHF/l | - | 22 000 |
| Remplissage, purge | | | 15% | 3 000 |
| | - | | | 25 000 |

| Tuyauterie en station CEC | | | | |
|--|------|--------|-----------|---------------|
| Fournitures et montage, avec raccords, fixations et isolation | 30 m | DN 150 | 330 CHF/m | 9 900 |
| | 48 m | DN 125 | 290 CHF/m | 13 920 |
| | 24 m | DN 65 | 180 CHF/m | 4 320 |
| | 18 m | DN 25 | 110 CHF/m | 1 980 |
| | - | | | 31 000 |

| Raccordements hors station | | | | |
|---|--|--|--|--|
| Fournitures et montage, avec raccords, fixations et isolation | | | | |

| Aux capteurs solaires CEC | | | | |
|----------------------------------|-------|------------|-----------|--------|
| raccordements en façade | 60 m | Ø 76.1 x 2 | 180 CHF/m | 11 000 |
| distribution en sous-sol | 300 m | Ø 76.1 x 2 | 230 CHF/m | 69 000 |
| traversées de murs extérieurs | | 2 p | CHF 1 000 | 2 000 |
| traversées de murs intérieurs | | 16 p | CHF 300 | 4 800 |
| rhabillage peinture | | 18 p | CHF 300 | 5 400 |

| Aux stockages | | | | |
|-------------------------------------|-------|----------|-----------|----------------|
| tuyaux souple stocks - station CEC | 40 m | 3 p | | |
| tuyaux CAD | 120 m | DN 150 | 400 CHF/m | 48 000 |
| tuyau de drainage | 40 m | 22 x 1.2 | 10 CHF/m | 400 |
| gaine pour ligne vérins et drainage | 40 m | Ø 100 | 25 CHF/m | 1 000 |
| percements du mur extérieur | 7 p | Ø 300 | 900 CHF/p | 6 300 |
| | 2 p | Ø 100 | 500 CHF/p | 1 000 |
| fouilles | 40 m | | 350 CHF/m | 14 000 |
| | - | | | 163 000 |

| Installations sanitaires | | | | |
|---------------------------------|--|--|--|--|
|---------------------------------|--|--|--|--|



| | | | | |
|----------------------|--|--|--|--------------|
| Eau froide | | | | 1 000 |
| Vidoir, robinetterie | | | | 2 000 |
| Eaux usées | | | | 3 000 |
| | | | | 6 000 |

| Installations électriques | | | | |
|--|------------|-------|-----------|---------------|
| Alimentation armoire MCR | 3 x 400 V | | 16 A | 2 000 |
| avec sous-comptage | | | | 1 000 |
| ligne informatique | 2 p | | | |
| Racc. électrique / point MCR | 2 | 1 | | |
| Levage hydraulique couvercle réservoir | 3 x 400 V | 10 kW | | |
| Commande à distance | | 1 p | | 2 000 |
| Racc. électrique / point MCR | 3 | 2 | | |
| Total des raccordements électriques | 78 p | | 300 CHF/p | 23 400 |
| Eclairage zone station CEC | | | | 3 000 |
| Lignes électriques hors station | supplément | | | |
| Raccordements capteurs solaires | 250 m | 4 p | 10 CHF/m | 10 000 |
| Raccordements stock | 60 m | 32 p | 12 CHF/m | 23 000 |
| | | | | 65 000 |

| Sous-station MCR | | | | |
|------------------------------|------------|------|-----------|---------------|
| Racc. électrique / point MCR | points MCR | 83 p | 450 CHF/p | 37 000 |

| Grillages local station CEC | | | | |
|------------------------------------|-------------------|------------------------|--|--------------|
| Parois grillagées et portes | 30 m ² | 150 CHF/m ² | | 5 000 |
| Porte | | | | 3 000 |
| | | | | 8 000 |

| | | | | |
|--------------------------|--|--|--|----------------|
| Total station CEC | | | | 451 000 |
|--------------------------|--|--|--|----------------|

Station solaire du CO

| Capteurs solaires CO | | | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------------------|------------------------|--|
| surface toitures B1 et B2 | 4 | 450 m ² | 1 802 m ² | |
| surface toitures B3a et B3b | 2 | 293 m ² | 587 m ² | |
| surface toitures B3c | 1 | 344 m ² | 344 m ² | |
| surface toitures B6 | 1 | 690 m ² | 690 m ² | |
| surface toitures B7a | 1 | 390 m ² | 390 m ² | |
| surface toitures B7b | 0 | | | |
| surface toitures B8-9 | 1 | 624 m ² | 624 m ² | |
| surface brute | | | 4 436 m ² | |
| surface nette maximum | 50% | | 2 218 m ² | |
| Surface nette probable | 47% | 2093 m ² | 2 100 m ² | |
| contenance capteur AZUR 8 H2.5, | 3.2 l/m ² | | 6.7 m ³ | |
| puissance captée | 500 W/m ² | | 901 kW | |
| débit d'eau glycolée | 22 l/h/m ² | DN 125 | 46.2 m ³ /h | |
| températures eau glycolée aller | 70 °C | | | |
| températures eau glycolée retour | 90 °C | | | |

| Raccordements des capteurs CO | | | | |
|--------------------------------------|--|------|--------------------|--|
| contenance / volume des capteurs | | 120% | 8.1 m ³ | |

| Expansion solaire CO | | | |
|---------------------------------------|--------------------|----------|--------------------------|
| volume eau glycolée à 40% glycol | | | 14.8 m ³ |
| température réf | -20 °C | 125 °C | variation |
| masse volumique eau glycolée | 1.057 | 0.965 | 0.092 |
| dilatation | | | 1.36 m ³ |
| contenance des capteurs si ébullition | | | 6.7 m ³ |
| marge | 20% | | 1.6 m ³ |
| Volume total d'expansion | | | 9.7 m³ |
| Système PNEUMATEX | info@pneumatex.com | | transfero |
| Régulateur | | | transfero TV4.1 |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 1 | 2 | |
| dégazage intégré | | | compris |
| température max de service | | | 70 °C |
| prix | | | CHF 3 854 |
| largeur | | | 390 mm |
| hauteur | | | 1 000 mm |
| profondeur | | | 490 mm |
| poids | | | 32 kg |
| Vase sous pression | | | statico SD 50.10 |
| prix | | | CHF 264 |
| diamètre | | | 536 mm |
| hauteur | | | 316 mm |
| poids | | | 12 kg |
| Vase pilote | | | TG 2000 |
| nombre | | | 1 p |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 1 | | |
| prix | | | CHF 8 127 |
| diamètre | | | 1 016 mm |
| hauteur | | | 2 839 mm |
| poids | | | 640 kg |
| Vases supplémentaires | | | TG 2000 E |
| nombre | | | 4 p |
| prix | | | CHF 7 760 |
| diamètre | | | 1 016 mm |
| hauteur | | | 2 839 mm |
| poids | | | 640 kg |



| | | | | |
|---|--|--|------------|---------------|
| Vase intermédiaire de refroidissement | | | DU 500.6 | |
| prix | | | CHF 909 | |
| diamètre | | | 680 mm | |
| hauteur | | | 1 705 mm | |
| poids | | | 61 kg | |
| Robinetterie, purges, vidanges, soupape | | | CHF 300 | |
| Prix matériel expansion | | | CHF 44 494 | 45 000 |

| Echangeur solaire | | | | |
|------------------------------------|-----|--|-----------|--------------|
| puissance | | | 901 kW | |
| écart de temp. entre fluides, DTIn | | | 2 K | |
| prix | 1 p | | CHF 8 000 | 8 000 |

| Circulateurs échangeur solaire | | | | |
|---------------------------------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| point de fonctionnement | 46.2 m³/h | 45 kPa | | |
| modèle | Grundfos | Magna 80/120 | | |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 4 | 6 | | |
| circulateurs, fournitures | | 2 p | CHF 4 500 | 9 000 |

| Appareils de régulation et compteurs | | | | |
|---|----------|----------|-----------|---------------|
| Vannes de champ de capteur | 5 m³/h | kvs = 85 | 0.3 kPa | |
| Type papillon | VKF46.50 | 10 p | CHF 300 | 3 000 |
| Servomoteur | SQL35.00 | 10 p | CHF 450 | 4 500 |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 20 | 30 | | |
| Sondes de température | | 14 p | CHF 250 | 3 500 |
| Sonde pression expansion solaire | | 1 p | CHF 400 | 400 |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 15 | 15 | | |
| Compteur de chaleur | - | 1 p | CHF 4 000 | 4 000 |
| <i>Racc. électrique / point MCR</i> | 3 | 2 | | |
| | - | | | 16 000 |

| Robinetterie | | | | |
|----------------------------------|-----------|------|---------|--------------|
| Vannes d'arrêt solaire et CAD CO | 46.2 m³/h | | | |
| vannes d'arrêt | DN 125 | 4 p | CHF 400 | 1 600 |
| vanne anti retour | DN 125 | 1 p | CHF 500 | 500 |
| Epurateur de conduite | DN 125 | 1 p | CHF 650 | 650 |
| vannes d'arrêt champs de capteur | DN 80 | 20 p | CHF 250 | 5 000 |
| Purges, vidanges, soupape sûreté | | 12 p | CHF 100 | 1 200 |
| | - | | | 9 000 |

| Montage | | | | |
|----------------------------------|--|--|------------|---------------|
| fournitures | | | sous-total | 87 000 |
| montage sous-station bâtiment CO | | | 60% | 53 000 |



| Antigel et remplissage | | | | |
|-------------------------------------|--|------------|-----|---------------|
| Monopropylène-glycol mélangé 40% | | 4.50 CHF/l | - | 67 000 |
| remplissage, purge | | | 10% | 7 000 |
| - | | | | 74 000 |



| Tuyauterie CO | | | | |
|--|-------|--------|-----------|----------------|
| Avec raccords, fixations, montage et isolation | 48 m | DN 125 | 290 CHF/m | 13 920 |
| | 460 m | DN 80 | 200 CHF/m | 92 000 |
| | 18 m | DN 32 | 130 CHF/m | 2 340 |
| Traversées de mur extérieur | | | | 3 000 |
| Traversées de mur intérieur | | 20 p | CHF 300 | 6 000 |
| Rhabillage peinture | | 20 p | CHF 300 | 6 000 |
| - | | | | 124 000 |

| Installations sanitaire | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|--------------|
| Eau froide | | | | 1 000 |
| Vidoir, robinetterie | | | | 2 000 |
| Eaux usées | | | | 3 000 |
| - | | | | 6 000 |

| Installations électriques | | | | |
|-------------------------------------|-----------|------|-----------|---------------|
| Alimentation armoire MCR | 3 x 400 V | 1 p | 12 A | 1 500 |
| avec sous-comptage | | 1 p | | 1 000 |
| Ligne informatique | | 2 p | | |
| Racc. électrique / point MCR | 4 | 2 | | |
| Total des raccordements électriques | 48 p | | 300 CHF/p | 14 400 |
| - | | | | |
| Eclairage zone station CEC | | | | 2 500 |
| Lignes électriques | 250 m | 20 p | 10 CHF/m | 50 000 |
| - | | | | 70 000 |

| Sous-station MCR | | | | |
|------------------------------|------------|------|---------|---------------|
| Racc. électrique / point MCR | points MCR | 57 p | CHF 450 | 26 000 |

| Grillages local station CO | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--|--------------|
| Parois grillagées | 33 m ² | 150 CHF/m ² | | 5 000 |
| Porte | | | | 3 000 |
| - | | | | 8 000 |

| Total station CO | | | | 445 000 |
|-------------------------|--|--|--|----------------|
|-------------------------|--|--|--|----------------|

"Chauffage à distance, y compris fouille"

| Chauffage à distance | Florence et CO enterré | Florence en garage | Champendal enterré |
|---|------------------------|--------------------|--------------------|
| Tuyaux | DN125 | DN125 | DN125 |
| Longueur du réseau | 140 m | 350 m | 300 m |
| Prix des tuyaux, fourniture | 200 CHF/m | | |
| Rendu posé isolé en centrale | | 290 CHF/m | |
| Nbre de tuyaux | 2 p | 2 p | |
| Fouilles | 320 CHF/m | isolé | 320 CHF/m |
| Fouilles | CHF 45 000 | | CHF 96 000 |
| <i>CAD en zone rurale, selon BG</i> | <i>510 CHF/m</i> | | |
| <i>CAD urbain selon Brugg</i> | <i>1 420 CHF/m</i> | | |
| CAD 2 tuyaux, fourniture et pose estimé | 750 CHF/m | 550 CHF/m | 750 CHF/m |
| CAD aller et retour, fourniture et pose | CHF 105 000 | CHF 193 000 | CHF 225 000 |
| Traversée de route pour CO | CHF 5 000 | | |
| Prix total | | | 528 000 |

"Sous-station type immeuble"

| Echange solaire-CAD | | | | Devis |
|--------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| Puissance | | | 40 kW | |
| Ecart de temp. entre fluides, DTIn | | | 2 K | |
| Débit solaire / débit CAD | 80 m ² | 21 l/h/m ² | 1.7 m ³ /h | |
| Prix | 1 p | | CHF 1 000 | 1 000 |
| Circulateur CAD | 1.7 m ³ /h | 70 kPa | | |
| Modèle | Grundfos | Magna 25/60 | | |
| Circulateurs, fournitures | | 1 p | CHF 1 100 | 1 100 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Vanne de réglage 2 voies motorisées | 1.7 m ³ /h | kvs = 10 | 3 kPa | |
| Type soupape | VVG44.25-10 | 1 p | CHF 181 | 181 |
| Servomoteur | SQS35.00 | 1 p | CHF 296 | 296 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Sondes de température | | | | |
| Capteurs solaires CEC | | 4 p | CHF 250 | 1 000 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 4 | 4 | | |
| | | | | 3 600 |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|--------------|
| Echange CAD-ECS | | | | |
| Puissance | 3 000 m ² | 10 W/m ² | 29 kW | |
| Ecart de temp. entre fluides, DTIn | | | 2 K | |
| Températures CAD / débit CAD | 57 °C | 14 °C | 0.6 m ³ /h | |
| Prix | 1 p | | CHF 1'000 | 1 000 |
| Circulateur sanitaire | | | | |
| Point de fonctionnement | 0.6 m ³ /h | 20 kPa | | |
| Modèle | Grundfos | Magna 25/80 | | |
| Circulateurs, fournitures | | 1 p | CHF 800 | 800 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Circulateur CAD | | | | |
| Point de fonctionnement | 0.6 m ³ /h | 70 kPa | | |
| Modèle | Grundfos | Magna 25/60 | | |
| Circulateurs, fournitures | | 1 p | CHF 1 200 | 1 200 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Vanne de réglage 2 voies motorisées | | | | |
| Calibre | 0.6 m ³ /h | kvs = 2.5 | 5 kPa | |
| Type soupape | VVG44.15-2.5 | 1 p | CHF 155 | 155 |
| Servomoteur | SQS35.00 | 1 p | CHF 296 | 296 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Sondes de température | | | | |
| Capteurs solaires CEC | | 4 p | CHF 200 | 800 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 4 | 4 | | |
| | | | | 4 300 |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---------------|-----------|--------------|
| Echange CAD-Chauffage | | | | |
| Puissance | | | 60 kW | |
| Ecart de temp. entre fluides, DTIn | | | 2 K | |
| Températures CAD / débit CAD | 32 °C | 27 °C | 10 m³/h | |
| Prix | | 1 p | CHF 1 500 | 1 500 |
| Circulateur chauffage | 10.3 m³/h | 70 kPa | | |
| Modèle | Grundfos | Magna 50/120F | | |
| Circulateurs, fournitures | 1 694.17 €HT | 1 p | CHF 2 000 | 2 000 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Vanne de réglage 2 voies motorisées | 10.3 m³/h | kvs = 63 | 3 kPa | |
| Type soupape | VVF65.63 | 1 p | CHF 400 | 400 |
| Servomoteur | SQX32.00 | 1 p | CHF 400 | 400 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 3 | | |
| Sondes de température | | | | |
| Capteurs solaires CEC | | 4 p | CHF 200 | 800 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 4 | 4 | | |
| | | | | 5 100 |

| Compteurs de chaleur | | | | |
|--------------------------------------|------------------------|-------|-----|--------------|
| Général CAD, vers le stockage | 1.7 m ³ /h | DN 65 | 1 p | 2 500 |
| Général CAD, vers le bâtiment | 10.9 m ³ /h | | | |
| Sous-comptage Eau chaude CAD | 0.6 m ³ /h | 3/4" | 1 p | 400 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 6 | 4 | | |
| | | | | 2 900 |

| Sondes de température | | | | |
|--------------------------------------|---|-----|---------|------------|
| Chauffe-eau | | 2 p | CHF 250 | 500 |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 2 | 2 | | |
| | | | | 500 |

| Robinetterie | | | | |
|-----------------------|------------------------|-------|---------|--------------|
| Solaire | 1.7 m ³ /h | DN 32 | | |
| Vannes d'arrêt | 4 p | | CHF 45 | 180 |
| Anti retour | 1 p | | CHF 30 | 30 |
| Eau chaude CAD | 0.6 m ³ /h | 3/4" | | |
| Vannes d'arrêt | 4 p | | CHF 20 | 80 |
| Anti retour | 1 p | | CHF 15 | 15 |
| Chauffage CAD | 10.3 m ³ /h | DN 65 | | |
| Vannes d'arrêt | 4 p | | CHF 250 | 1 000 |
| Anti retour | 1 p | | CHF 150 | 150 |
| CAD | 10.9 m ³ /h | DN 65 | | |
| Epurateur de conduite | 1 p | DN 65 | CHF 200 | 200 |
| Vannes d'arrêt | 4 p | DN 65 | CHF 250 | 1 000 |
| | | | | 2 700 |



| | | | | |
|----------------------|--|--|------------|--------------|
| Montage | | | | |
| Fournitures | | | sous-total | 19 000 |
| Montage sous-station | | | 50% | 9 500 |

| | | | | |
|---|------|-------|-----------|---------------|
| Tuyauterie en chaufferie, sous-sol | | | | |
| avec montage raccords et fixations | 24 m | DN 65 | 180 CHF/m | 4 320 |
| | 24 m | DN 25 | 110 CHF/m | 2 640 |
| Traversées de murs | 10 p | | CHF 300 | 3 000 |
| Rhabillage peinture | 10 p | | CHF 200 | 2 000 |
| | | | | 12 000 |

| | | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----|-----------|---------------|
| Installations électriques | | | | |
| Alimentation armoire MCR | 1 x 230 V | 1 p | 12 A | 500 |
| Ligne informatique | | 2 p | | |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | 3 | 1 | | |
| Total des raccordements électriques | 37 p | | 300 CHF/p | 11 100 |
| | | | | 11 600 |

| | | | | |
|--------------------------------------|------------|------|---------|---------------|
| Sous-station MCR | | | | |
| <i>Racc. électrique / points MCR</i> | points MCR | 40 p | CHF 450 | 18 000 |

| | | | | |
|------------------------------------|--|--|--|---------------|
| Total sous-station Immeuble | | | | 70 000 |
|------------------------------------|--|--|--|---------------|

Le quartier comprend au total 15 sous-stations.

Supervision

| | | | |
|--------------------------------|-------|-----------|---------------|
| Bus informatique | | | CHF |
| Lignes de chauffage à distance | 800 m | 20 CHF/m | 16 000 |
| Racc stations et sous-stations | | | |
| immeubles | 15 p | 500 CHF/p | 7 500 |
| Stations CO, CE et expansion | 3 p | 500 CHF/p | 1 500 |
| Prix total | | | 25 000 |

| | | | |
|---------------------------|-------|--|---------------|
| Unité centrale MCR | | | |
| Programmation | 741 p | | 50 000 |
| Total | | | 50 000 |

Ratio coût global de chaleur

Le ratio est calculé sur les bases suivantes :

| Chauffage solaire de quartier | | | | | | | |
|---|-----------------------|--------------------------|------------------|--------------|------------|-----------|----------------------|
| Coûts | quantités | prix unitaire | prix CHF | part du prix | amort. ans | annuité % | CHF/a |
| Capteurs solaires | 2 820 m ² | 552 CHF/m ² | 1 556 000 | 19% | 25 a | 7.10% | 110 402 |
| Amngt ext et install chantier | 1 000 m ² | 389 CHF/m ² | 389 000 | 5% | 25 a | 7.10% | 27 601 |
| Stock tampon journalier | 617 m ³ | 1 000 CHF/m ³ | 617 000 | 7% | 25 a | 7.10% | 43 778 |
| Stock en terre | 45 000 m ³ | | | | | | |
| épaisseur | 30 m | | | | | | |
| surface | 1 500 m ² | 453 CHF/m ² | 680 000 | 8% | 30 a | 6.51% | 44 235 |
| sondes | 8 980 m | 100 CHF/m | 898 000 | 11% | 30 a | 6.51% | 58 416 |
| Chauffage à distance | 500 m | 1 056 CHF/m | 528 000 | 6% | 50 a | 5.48% | 28 922 |
| sous-stations | 19 p | 110 895 CHF/p | 2 107 000 | 26% | 25 a | 7.10% | 149 497 |
| supervision | 1 p | 75 000 CHF/p | 130 000 | 2% | 20 a | 8.02% | 10 432 |
| structure bât existant et sondes, divers imprévus | | | 1 332 000 | 16% | 50 a | 5.48% | 72 963 |
| Sous-total | | | 8 237 000 | 100% | | | |
| Ingénierie et management | 19.0% | | 1 563 000 | | 30 a | 6.51% | 101 675 |
| Subvention | | | | | 30 a | 6.51% | - |
| Investissement | | | 9 800 000 | | | | |
| Intérêt, risque et bénéfice | 5.0% | | | | | | |
| Annuité globale | | | | | | 6.61% | 648 000 |
| Exploitation | | | | | | | |
| Fraction solaire | 76.5% | | | | | | |
| Production solaire | 1 920 MWh/a | | | | | | |
| Gaz naturel | 590 MWh/a | 0.075 CHF/kWh | | | | | 44 239 |
| Electricité des auxiliaires | 22 MWh/a | 0.21 CHF/kWh | | | | | 4 600 |
| Chaleur livrée | 2 510 MWh/a | | | | | | 48 800 |
| Service entretien réparations | 0.50% | 9 800 000 | | | | | 49 000 |
| Ramoneur | 17 p | 500 CHF/a | | | | | 8 500 |
| Administration | 0.30% | 9 800 000 | | | | | 29 400 |
| Assurances | 0.50% | 9 800 000 | | | | | 49 000 |
| Droit de superficie | - | | | | | | |
| Impôts | 0.40% | 9 800 000 | | | | | 39 200 |
| Maintenance et administration | 1.79% | 9 800 000 | | | | | 175 000 |
| Total des coûts | | | | | | | 871 800 |
| Coût global de la chaleur | | | | | | | 0.347 CHF/kWh |



Annexe 5
Chronologie du projet

GENESE DU PROJET SOUS MANDAT DES MO DU QUARTIER :

- 08.02.2006 : Mandat est donné par les MO à BG pour le concept énergétique du Quartier.
- 22.05.2006 : Diffusion du concept énergétique après consultation du géologue cantonal, du ScanE : Gaz + solaire + stock saisonnier.
- 01.07.2007 : Réalisation du sondage géologique afin de déterminer les caractéristiques thermiques et mécaniques du sol.
- 12.07.2007 : Demande d'aide au ScanE pour réaliser l'étape suivante de ce projet, les MO ayant une volonté forte de concrétiser ce projet à impact environnemental réduit.

AVANT-PROJET SOMMAIRE SOUS MANDAT DU SCANE

- 03.06.2008 : Mandat est donné par le ScanE à BG de réaliser l'APS compte tenu du caractère expérimental et exemplaire du projet (uniquement sur les aspects thermiques et économiques et pas sur les aspects mécaniques du terrain, statique toitures, architecture et aménagements extérieurs, n'ayant pas été identifiés comme critiques).
- 29.08.2008 : Diffusion de l'APS ind.0 réalisé en collaboration avec .MM. Hadorn et Pahud pour ce qui concerne la conception hydraulique du stock et sa simulation thermique.
- 28.11.2008 : Diffusion de l'APS ind.a, intégrant des adaptations des surfaces de capteurs, des compléments concernant les coûts des ouvrages, l'intégration du retour d'expérience de la visite du stock de Neckarsulm en Allemagne.
- 22.12.2008 : Diffusion de l'APS ind.b, intégrant une analyse de l'influence de la taille du stock sur les résultats.
- 18.02.2009 : Présentation de l'APS par le ScanE, assisté de BG –M. Ouzilou, à toutes les parties prenantes. L'APS est approuvé.
- 04.03.2009 : Présentation du projet par BG au prof. Lachal pour prise en considération de son analyse pour la phase d'étude suivante.
- 30.07.2009 : Signature de la charte d'engagement des différentes parties prenantes du projet de stockage saisonnier

AVANT-PROJET DETAILLE SOUS MANDAT DES SIG

- 25.09.2009 : Mandat est donné par les SIG à BG de réaliser l'avant-projet détaillé en 2 étapes : une étape initiale de "plan d'affaire" basée sur l'APS et axée principalement sur l'économie du projet, pour documenter la requête en subvention, puis une étape technique après bouclage économique de l'opération pour valider la faisabilité du projet.
- 19.10.2009 : Diffusion du Plan d'affaire par BG.

- 16.11.2009 : Diffusion d'une note d'analyse des prix des capteurs solaires par BG.
- 10.03.2010 : Diffusion d'une étude de variantes du stock journalier par BG.
- 17.03.2010 : Séance d'information aux propriétaires
- 22.04.2010 : Diffusion du schéma de principe des sous-stations d'immeubles avec définition des limites de prestation et de participations SIG/Propriétaires.
- 01.07.2010 : Diffusion d'une note sur la stratégie de régulation des installations de chauffage par BG.
- 15.10.2010 : Envoi de la requête de contribution financière à l'OFEN par les SIG, basé sur un budget de 6,28 MCHF
- 01.11.2010 : Décision de subvention de l'OFEN.
- 18.11.2010 : Décision de subvention du ScanE
- 09.02.2011 : Acceptation par l'OLO de conserver le supplément Minergie de 150F/an/p. et de répercuter en plus les investissements du projet de stockage sur les charges selon les modalités discutées : projet subventionné et coût maîtrisé.
Rédaction du projet de contrat SIG/Propriétaires.
- 23.03.2011 : Présentation du projet par les SIG aux propriétaires et promoteurs.
- 20.05.2011 : Présentation du projet par les SIG au DCTI/DIP/ScanE.
- 20.04.2011 : Diffusion par BG de l'étude d'implantation des capteurs solaires sur les toits de l'école E. Gourd et du CO de la Florence.
- 13.10.2011 : Diffusion par BG du rapport sur la statique des toitures + panneaux solaires.
- 19.10.2011 : Diffusion par BG de la note sur le dimensionnement des LT à prévoir dans les bâtiments.
- 04.11.2011 : Diffusion par BG du rapport d'analyse des essais labo de l'EPFL et de la simulation thermo-mécanique du stock.
- 08.11.2011 : Diffusion par BG de l'analyse des offres des différents fournisseurs de capteurs solaires.
- 28.11.2011 : Diffusion par BG du rapport d'APD sur la base des documents listés précédemment.
- janvier 2012 : Abandon du projet.



Annexe 6

Résumé de la conversation téléphonique concernant le projet de stockage solaire saisonnier de Drake Landing Solar Community au Canada

FLORENCE CHAMPENDAL
Résumé de la conversation téléphonique concernant
le projet de stockage solaire saisonnier
de Drake Landing Solar Community au Canada

Participants :

M. Bruce Sibbitt. Natural Resources Canada (NRC)
M. Alexis Minkoff, FM Travaux
Mme Sophie DurandeuX, SIG

Site de référence :

Site internet du projet de Drake Landing Solar Community (DLSC) : www.dlsc.ca

Ce site contient des informations générales sur le projet et propose également en téléchargement des rapports énergétiques mensuels et annuels ainsi que la visualisation en temps réel des flux énergétiques du projet. Note : M. Sibbitt nous transmettra le rapport énergétique 2009-2010 (version préliminaire) qui n'est pas encore disponible sur leur site.

Historique du projet DLSC :

Le projet DLSC a vu le jour début 2004 suite à une initiative publique du NRC. Les études préliminaires ont été réalisées en 2004. Le projet a reçu une subvention fédérale de 3 à 4 millions de dollars canadiens. Le but était de réaliser un projet pilote en Amérique afin de démontrer la validité de la technologie.

Les derniers panneaux solaires thermiques ont été installés en juin 2007. L'installation de production et distribution de chaleur (panneaux solaires, stockage saisonnier et CAD) est en marche depuis 4 ans. Le suivi de la performance de cette installation est réalisé depuis 4 ans par SAIC (Science Applications International Corporation).

Retour d'expérience de DLSC/M. Sibbitt :

- Le projet a atteint lors de sa 4^{ème} année de fonctionnement une couverture solaire de 80% ce qui permet à M.Sibbitt de penser que l'objectif initial de 90% de couverture solaire à partir de la 5^{ème} année pourra être atteint.
- Seuls les besoins de chauffage (et non les besoins en eau chaude sanitaire) sont couverts par l'installation de quartier. La production d'eau chaude sanitaire est indépendante dans chaque maison grâce à des panneaux solaires thermiques installés en toiture. Les panneaux solaires installés sur les garages (bâtiments séparés des maisons) alimentent selon la demande le réseau de chauffage à distance, le stock journalier et/ou le stockage en terre. Une chaudière gaz assure l'appoint pour l'ensemble des maisons. M.Sibbitt a insisté sur l'importance de limiter l'utilisation du stock aux applications de chauffage basse température, voire de préchauffage de l'eau chaude sanitaire.
- Les installations n'ont pas été modifiées depuis leur mise en place. Seuls le soutirage et l'injection de l'eau dans les stocks tampon ont été optimisés pour assurer une meilleure stratification dans les cuves.
- M.Sibbitt a confirmé l'importance d'abaisser la température de distribution de l'eau dans le réseau CAD afin de diminuer les pertes thermiques et d'augmenter le rendement du stock, et également d'abaisser la température d'entrée de l'eau glycolée dans les capteurs solaires pour améliorer leur rendement.
- M.Sibbitt a mentionné que le stock saisonnier en terre du projet de DLSC a une efficacité faible à hauteur de 50%. le NRC est en train de réaliser des simulations pour un nouveau projet canadien en phase d'étude préalable pour définir la taille critique du stock saisonnier pour un ensemble de 1000 appartements.
- M.Sibbitt a confirmé la présence d'isolation en haut du stockage saisonnier en dessous du sol (15 cm de polystyrène extrudé sous 2 mètres de sol). La majeure partie des pertes se fait par échange avec l'atmosphère. L'isolation périphérique du stock n'est pas envisageable sans considérer creuser l'ensemble du stock au lieu de simplement forer les sondes (importante augmentation des coûts). La longueur des sondes (35m) a également été limitée par la présence d'une nappe phréatique.

- M.Sibbitt a confirmé l'emplacement du stockage saisonnier à l'extrémité de la parcelle du projet. Ce stock est adjacent au bâtiment regroupant la chaudière à gaz (centralisée) et les ballons de stockage thermique à eau. Aucun impact de la présence du stock saisonnier et par la même de l'augmentation de la température du sol sur ce bâtiment adjacent n'est à déplorer. La végétation sur et aux alentours du stock saisonnier (herbe et petits arbustes) n'a pas subi de détérioration (assèchement) sur les 4 années d'exploitation.
- Les consommations de chaque habitation varient sensiblement pour une même surface au sol. Un système de bonus et malus a été mis en œuvre pour récompenser ou pénaliser (financièrement) 10% des plus petits consommateurs et 10% des plus gros consommateurs. M. Sibbitt a confirmé que dans le cas du projet Florence Champendal (i.e. chaudières dans chaque bâtiment) il faut mesurer à la fois la contribution à la charge du stock en terre et l'énergie soutirée au stock pour répondre aux besoins de chaleur.
- M.Sibbitt nous a donné plus d'information sur les entreprises contactées dans le cadre de leur projet DLSA :
 - o Les panneaux solaires du projet DLSA proviennent d'une entreprise en Europe (Danemark) [Fabrication en Corée].
 - o M.Sibbitt a confirmé l'importance des simulations pour optimiser le dimensionnement. La simulation du système a été réalisée par TESS sous TRNSYS.
 - o M. Sibbitt a également nommé M. Hadorn et M. Mangold de SOLITES (bureau d'étude allemand ayant conçu le projet de Nekarsulm)

Comparaison des caractéristiques du projet DLSC et du projet Florence Champendal (FC)

| | DLSC | FC |
|--------------------------------------|---|---|
| Bâtiments résidentiels | | |
| Surface des habitations | 52 maisons Total approx : 78'000 ft2 (7'300 m2) | 392 logements 61'000 m2 |
| Besoins Chaleur | Chauffage : (Basse T : 37C) 3000 GJ (0.83 GWh/a) ECS : 1000 GJ (0.28 GWh/a) Chauffage + ECS : 1.11 GWh/an (152 kWh/an) | Chauffage : (Basse T : 30C) 1.18 GWh/a Eau chaude sanitaire : 1.27 GWh/a Chauffage + ECS : 2.45 GWh/an (42 kWh/an) |
| Projet de stockage saisonnier | | |
| Besoins à couvrir par le projet | Besoins de chauffage uniquement. La production d'eau chaude sanitaire est assurée par des panneaux solaires thermiques propres à chaque maison. | Besoins de chauffage et eau chaude sanitaire |
| Taux de couverture solaire | A 5 ans : 90% | A 5 ans : 70-75% |
| Panneaux solaires | Collecteur vitré (plat) 2'300 m2 Efficacité= 34% (mesure) | Collecteur vitré (plat) 4'500 m2 Efficacité = 38% (hypothèse) |
| Stockage en terre | 35 m de diamètre 37 m de profondeur | 45 m de diamètre 30 m de profondeur |
| Stockage journalier | 240 m3 (dans la chaufferie centralisée) | 360 m3 (dont 113 m3 dans les bâtiments et 247 m3 au centre du stock en terre) |
| Appoint/relève | Chaudière au gaz naturel (dans la chaufferie centralisée) | Chaudière au gaz naturel (dans chaque bâtiment) |



Annexe 7
Projet de Charte d'engagement

Projet de Charte d'engagements

Stockage solaire en terre Florence-Champendal

Cette charte a pour but de formaliser les relations et les engagements liant les partenaires du projet précité afin de façonner les conditions favorables à sa réalisation. Ce document évolutif sera adapté et approuvé par étapes successives.

Situation

Un avant-projet sommaire (APS) du 22.12.08, financé par le ScanE et élaboré par BG Ingénieurs conseils, a établi un premier niveau de faisabilité d'une infrastructure de chauffage solaire de quartier avec stockage saisonnier de chaleur en terre. Les partenaires de ce projet, informés des conclusions de cet APS ont exprimé leurs intentions.

- Les services industriels de Genève (SIG) sont intéressés par l'exploitation et la réalisation de ce chauffage solaire de quartier. A cette fin, ils sont disposés à en financer l'ingénierie et la réalisation.
- Le DCTI, par son Office des Bâtiments, propriétaire du Cycle d'orientation de la Florence (CO) et du Collège et école de commerce Emile-Gourd (CEC), est disposé à offrir la disponibilité des toitures de ces 2 écoles pour l'installation de capteurs solaires thermiques et d'un terrain pour l'implantation du stock saisonnier. Mais il n'est pas intéressé, à priori, à utiliser cette chaleur solaire.
- Les preneurs potentiels de cette chaleur à distance sont disposés à se raccorder et à l'acheter, pour autant que le coût soit en relation avec le prix du marché des énergies renouvelables. Ce sont les propriétaires des bâtiments de logement Minergie en projet et en cours de construction des PLQ de la Florence et de Champendal.
- Dans le but de répondre aux objectifs cantonaux de politique énergétique et d'acquérir une expérience technique, industrielle, urbanistique et économique, le ScanE, qui a financé les études préliminaires, veille à la promotion de l'opération par la coordination des démarches, les relations publiques, la recherche d'aides financières propres ou tierces.

La phase d'étude suivante, l'avant-projet prioritaire APP est en cours de négociation entre les SIG et BG Ingénieurs conseils. Le but est de préciser le coût de la chaleur pour délimiter la viabilité économique du projet.

Engagements

1. Dans la mesure où la faisabilité technico-économique du projet est atteinte, les SIG s'engagent à fournir de l'énergie thermique pour le chauffage et la production d'ECS. Ils financent, réalisent, exploitent et entretiennent l'installation solaire du quartier et fournissent le gaz naturel pour les chaudières d'appoint décentralisées par bâtiment. Les schémas en annexe-proposent les limites de propriété et de prise en charge.
2. Les propriétaires des bâtiments concernés sont utilisateurs d'énergie thermique pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire (ECS). Ils s'engagent à se raccorder au chauffage solaire du quartier, sous réserve d'un coût de chauffage au mètre carré acceptable. Ils s'engagent à assurer la compatibilité de leur bâtiment avec cette infrastructure énergétique par un chauffage au sol à basse température, à réaliser les mesures conservatoires requises, telles que les circuits hydrauliques adaptés et à mettre à disposition les espaces techniques nécessaires pour les raccordements et équipements ultérieurs.

3. L'Etat de Genève, par le ScanE:
 - facilite les procédures et les relations avec les autres institutions, dont l'Office fédéral de l'énergie (OFEN),
 - garantit le risque économique des mesures conservatoires citées ci-dessus,
 - recherche des aides financières pour abaisser au besoin le prix de la chaleur solaire.
4. L'Office des bâtiments du DCTI, sous réserve de la conclusion d'un arrangement formel (droit de superficie, responsabilités mutuelles et conditions de maintenance), s'engage à mettre à disposition:
 - les toitures du CO et du CEC pour l'installation, les raccordements et l'exploitation de capteurs solaires.
 - un terrain du CEC Emile-Gourd pour la réalisation, les raccordements et l'exploitation du stock de chaleur en terre, tel que défini dans son principe par l'avant-projet sommaire du 22 décembre 2008

DCTI, Office des Bâtiments:

DT, ScanE:

SIG:

Propriétaires: