



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC

Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final 1 décembre 2011

Projet pilote de maintien en chauffe d'un stockage de 80'000 litres de bitume à 160 °C par des panneaux solaires haute énergie

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche Solaire industriel à haute température
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Cofinancement:

ScanE, Service cantonal de l'énergie de l'Etat de Genève, DT – ScanE, CH-1211 Genève
SIG, Services industriels de Genève, CH-1219 Le Lignon
Fonds SIG COGENER, CH-1219 Le Lignon

Mandataire:

Colas Suisse SA, Succursale de Satigny
50, route de Satigny
CH-1214 Vernier
www.colas.ch

Auteurs:

Marc Maranzana, Colas Suisse SA, maranzana@colas.ch
Pierre Bornet, Colas Suisse SA, bornet@colas.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Stefan Oberholzer

Chef de programme de l'OFEN: Pierre Renaud

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: SI/500445-01 / SI/500445

L'auteur de ce rapport porte seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

Table des matières

Abstract	4
Bitumen heating up to 180°C by the SRB solar panel	4
Préface	4
Démarche et objectifs initiaux	5
Une énergie renouvelable.....	5
Un engagement pour l'avenir	5
Un procédé innovant.....	5
Objectifs initiaux	5
Résumé	6
Travaux effectués et résultats acquis	7
Composition du champ solaire.....	7
Fonctionnement du champ solaire	8
Installation du champ solaire	9
Inauguration du champ solaire.....	10
Résultats acquis à la mise en place du projet	11
Collaboration nationale et internationale	15
Collaboration nationale	15
Collaboration internationale	15
Bilan et perspectives	16
Evaluation de 2010-2011.....	16
Perspectives pour 2012	16
Annexes :	17

Abstract

Bitumen heating up to 180°C by the SRB solar panel

The bitumen used for road coating is stored at temperatures ranging from 160°C to 180°C to improve its pumpability. COLAS Suisse SA has decided to make use of solar energy for this task, with the aim of totally or partially replacing fossil fuel.

The chosen solar panels are produced by Corp. SRB Energy close to Valencia (Spain). These solar panels are evacuated at pressures lower than 10^{-4} Torr (0.01 Pa), reducing the thermal losses and increasing the efficiency at high temperatures. To further enhance the high temperature efficiency, the panels are equipped with non focusing cylindrical mirrors.

To achieve this, a solar field of 80m² will be installed on the roof of a metallic warehouse. Given the building orientation and constraints, the panels will be oriented 45°West with no tilt on the horizontal plane. The details of the installation design and performance estimation are presented and discussed.

Keywords: Solar thermal panel, process heat, bitumen, storage tanks.

Préface

Colas Suisse, filiale du leader mondial de la construction routière Colas SA, a installé sur son site de Genève la première chaudière solaire à panneaux thermiques plats à ultravide, capable de chauffer à une température supérieure à 180 °C.

Pour la première fois au monde, une industrie exploite ce tout nouveau type de champ solaire conçu et réalisé par Corp. SRB Energy S.L. à partir d'un brevet du Centre européen de recherche nucléaire (CERN). Le respect de l'éthique et des principes de développement responsable est depuis longtemps une priorité chez Colas.

En effet, les processus de production et de fabrication du groupe ont un impact économique, social et environnemental indéniable. La volonté de Colas est de sans cesse repenser les modes d'exploitation dans l'intention d'en réduire les impacts environnementaux en essayant d'intégrer de nouvelles pratiques opératoires (tels que les panneaux solaires).

Inscrite dans cette démarche environnementale, la recherche d'une solution solaire pour un appoint énergétique a mené les services de Colas Suisse à considérer l'utilisation de panneaux à haut pouvoir énergétique. C'est ainsi que le projet a vu le jour, il y a sept ans.

Démarche et objectifs initiaux

Ce projet, qui a débuté en 2004, a pu aboutir grâce à la synergie de plusieurs facteurs.

Une énergie renouvelable

La dépendance aux énergies fossiles fait partie des préoccupations majeures de Colas. Diversifier ses énergies fait ainsi partie d'un objectif prioritaire pour limiter sa dépendance aux fortes fluctuations du marché des énergies. Le gisement d'énergies à exploiter est au-dessus de (voire dans) nos têtes !

Un engagement pour l'avenir

COLAS SUISSE a signé une convention avec l'Agence de l'Energie pour l'Economie (AEnEC). Cette agence a été créée en 1999 par d'importantes associations économiques afin de favoriser une collaboration partenariale entre l'état et les milieux économiques pour atteindre les objectifs fixés dans les domaines de l'énergie et du climat par la Confédération. Auprès de cette agence, Colas Suisse s'est engagée à réduire de plus de 40 % ses émissions de CO₂ entre 2005 et 2010 avec des critères sévères d'efficacité énergétique les incitant à ne pas augmenter la part d'énergie électrique, celle-ci étant pénalisée par un facteur 2.

Sensible à ces critères d'efficacité énergétique, Colas Suisse a décidé, il y a 6 ans, lors de la rénovation du parc à liant, de ne pas retenir la solution électrique et de maintenir un système thermo fluide permettant, aujourd'hui, d'utiliser la technologie des panneaux.

Un procédé innovant

Un des principes fondamentaux de Colas est l'amélioration continue de ses performances. Il s'agit sans cesse de repenser les modes d'utilisation des divers agents énergétiques tout en prenant l'engagement de limiter les émissions de combustibles et de carburants fossiles.

Colas Genève a toujours été fortement engagée dans la démarche environnementale. Grâce à ce projet, elle est la première à avoir mis en place cette technique pour le chauffage du bitume et cette innovation s'inscrit parfaitement dans la politique et dans l'avancée de notre société.

Objectifs initiaux

Les objectifs initiaux de ce projet étaient de :

- vérifier la faisabilité d'une chaudière solaire avec des panneaux solaires thermiques à ultravide pour le maintien en chauffe de bitume à 160 °C,
- évaluer la productivité du champ solaire avec stockage thermique,
- caractériser et optimiser les contrôles de procédé et de la productivité
- mesurer en vraie grandeur le retour sur investissement ;
- étudier à l'échelle 1:1 sur notre site pilote pour valider la technique au stade industriel.

Résumé

Ce projet de chauffage à 160 °C de 80'000 litres de bitume par panneaux solaires thermiques à ultravide est un projet unique conçu pour chauffer des produits bitumineux à travers l'énergie solaire produite par un panneau solaire de nouvelle conception. Le domaine de la production de produits bitumineux est un gros consommateur d'énergie, nos panneaux solaires sont une alternative prometteuse aux énergies fossiles.

D'une part, ces capteurs thermiques plats à ultravide présentent la particularité d'utiliser la lumière directe et diffuse. Les collecteurs de lumière sont équipés de miroirs cylindriques réfléchissants en aluminium pour concentrer la lumière directe et diffuse sur un absorbeur et atteindre des températures d'utilisation très élevées (180 °C pour l'application). Sa température de stagnation est de 300 °C sans les miroirs et de 400 °C avec les miroirs cylindriques.

D'autre part, ces panneaux ont une isolation thermique remarquable des absorbeurs de lumière solaire, assurée par l'ultra vide, c'est-à-dire un vide extrême obtenu et maintenu par une pompe getter (substance chimique utilisée pour consommer le gaz se produisant au chauffage du panneau), elle-même alimentée à l'énergie solaire, qui extrait l'air ou tout autre gaz entre les vitres des panneaux. Les performances sont aussi dues au revêtement sélectif de chrome noir des absorbeurs.

Ainsi, nous avons installé 78m² de capteurs solaires, soit un champ de 20 panneaux. L'huile servant au chauffage des cuves de bitume sera portée à une température de 150 à 200°C en circulant dans les panneaux solaires.

Les économies d'énergie réalisées sur un an d'Août 2010 à Août 2011, ont été de 12'359kWh soit une diminution des émissions de CO₂ de 2'926 t.



Figure 1 : Champ solaire sur le toit de l'atelier de Colas Genève

Travaux effectués et résultats acquis

Composition du champ solaire

Le champ solaire est constitué de quatre modules, constitués de 5 panneaux connectés en série qui sont branchés en parallèle afin d'équilibrer les circuits. Chaque groupe de 5 panneaux peut être isolé grâce à deux vannes pour faciliter la maintenance.



Figure 2 : Panneau solaire avec les miroirs cylindriques réfléchissant

L'huile, fluide thermique caloporteur pouvant atteindre des hautes températures, circule en boucle dans la chaudière solaire tant que la puissance solaire disponible est insuffisante pour atteindre la température voulue de consigne. Lorsque la température de consigne est atteinte, une vanne ouvre le circuit de la chaudière solaire et le met en parallèle avec le circuit de la chaudière à gaz. L'huile entre ainsi dans le champ solaire entre 160 °C et 170 °C et ressort entre 180 °C et 190 °C vers le parc de stockage de bitume réduisant ainsi la consommation de gaz.

Pour faire circuler le fluide caloporteur dans le champ solaire, le système est équipé d'une pompe centrifuge travaillant à 2 bars. Si la température de l'huile monte au-delà de 190 °C, la pompe augmente son débit pour limiter la température du fluide caloporteur en dessous de 210 °C à la sortie du panneau.

Le circuit est équipé de 2 capteurs de température immergés utilisés pour réguler le système (débit d'huile) en fonction de la température de sortie et d'entrée du champ solaire. Pour ce

projet pilote, 16 capteurs superficiels de température ont été installés à la sortie de chaque collecteur. Les lectures de température sont collectées et envoyées à un serveur pour être analysées dans le cadre de ce projet pilote.

Le système possède un débitmètre après la pompe de circulation afin de mesurer la quantité d'huile passant dans le champ solaire dans le but calculer l'énergie produite en fonction de l'ensoleillement, mesuré par un pyranomètre à silicium.

Fonctionnement du champ solaire

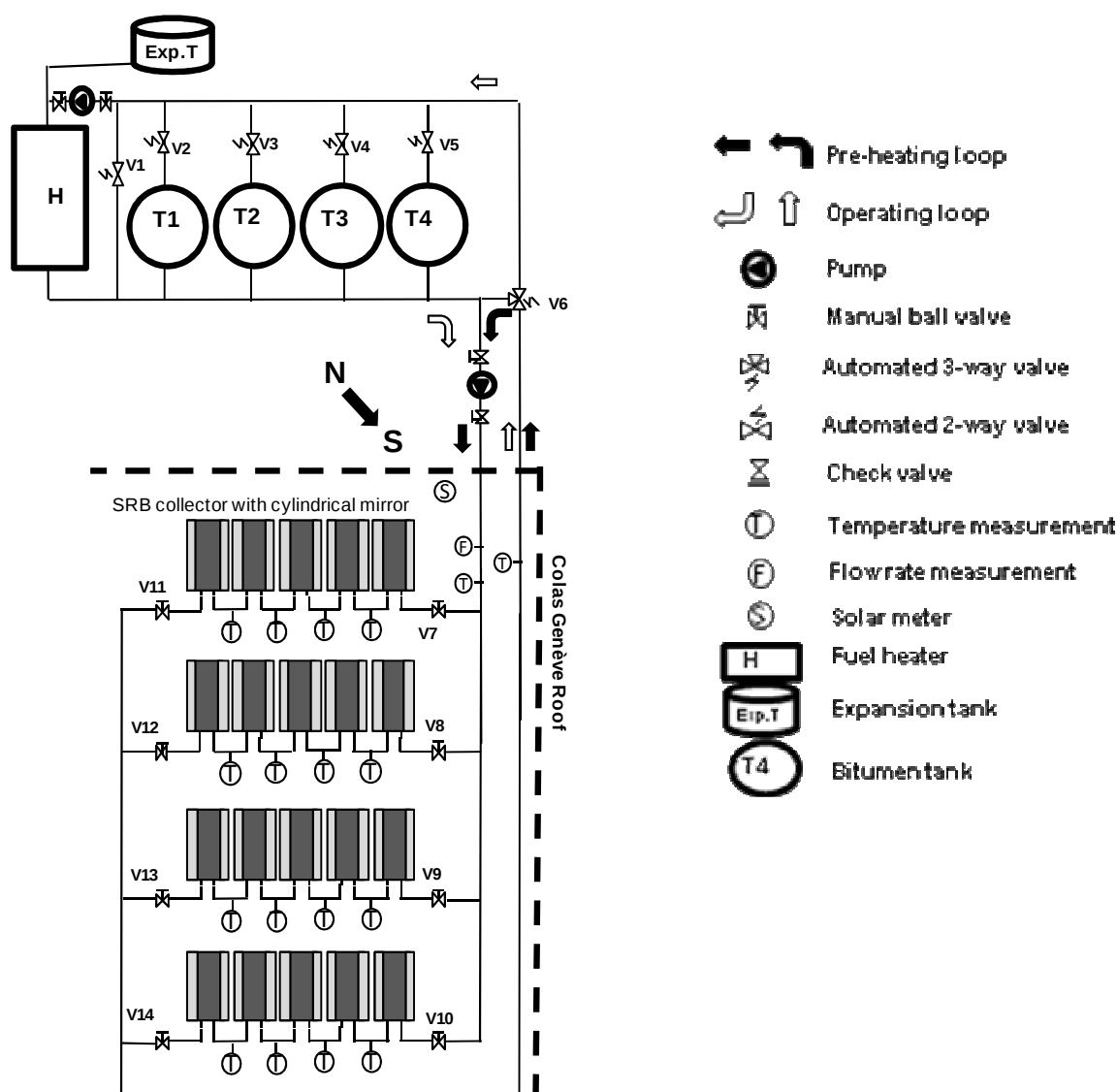


Figure 3 : Schéma modélisant le transfert de l'énergie solaire des panneaux vers les cuves de bitume

D'après la figure 3, le pompage, à partir d'huile, de l'énergie solaire produite par les panneaux est enclenché lorsque le niveau d'irradiation solaire sur ceux-ci excède 150W/m^2 . L'huile circule à travers le champ solaire jusqu'à ce que sa température atteigne 185°C . A cet instant, une vanne 3-voies s'ouvre et le fluide caloporteur est ainsi transféré jusqu'au circuit de stockage d'énergie des cuves de bitume.

Installation du champ solaire

Une structure métallique de 7m x 14m ayant une masse de 11 tonnes a été conçue et réalisée pour assembler le champ solaire au sol et minimiser les opérations en hauteur (montage des miroirs et des capteurs, canalisations et calorifugeage). Cette structure a été installée sur le toit de l'atelier et du dépôt de Colas Genève pour préserver la surface au sol pour son activité de génie civil. Ce toit présente l'avantage d'avoir 1'400 m² de surface disponible pour pouvoir augmenter la surface du champ solaire dans le futur.

Le champ solaire a été installé avec une orientation de 45° ouest (orientation du bâtiment) et 5° d'inclinaison. Le rendement du champ solaire n'est pas optimum dans cette configuration mais présente le meilleur retour sur investissement compte tenu du surcoût important demandé pour une installation en configuration optimale orientée sud avec une inclinaison de 33°.



Figure 4 : Montage de la structure métallique, avec passage aérien en arrière-plan

Pour relier le champ solaire à la chaudière, une structure porteuse (passage aérien à 10m au-dessus de la route) a été installée pour soutenir deux canalisations calorifugées de 60m.





Figure 5 : Installation du champ solaire sur le toit de l'atelier de Colas Genève

Inauguration du champ solaire

Ce champ solaire innovant a été inauguré le 15 juin 2010. Le PDG du groupe Colas, Hervé Le Bouc, était présent à cette inauguration, qui marque une grande avancée dans la récupération de l'énergie solaire pour maintenir en chauffe une cuve de bitume de 80'000 litres. Il a ajouté « *J'adresse toutes mes félicitations à Colas Suisse et à Colas Genève pour avoir été pionnières en matière environnementale.* » Il a également remercié le Centre européen de recherche nucléaire (CERN), le docteur Benvenuti pour avoir développé cette technologie, ainsi que les partenaires du projet.



Figure 6 : Cuve de bitume maintenue en chauffe grâce au champ solaire

Résultats acquis à la mise en place du projet

L'installation solaire était terminée et opérationnelle au début du mois de mai 2010. Des problèmes matériels affectant le système de mesures ont empêché l'acquisition de données jusqu'au début du mois de Juillet 2010. Cependant, en raison d'un problème intermittent affectant la mémoire de stockage du système de contrôle, les données de performances enregistrées durant le mois de Juillet 2010 ont été perdues.

Entre Juillet et Octobre 2010, l'installation solaire a produit et transmis au circuit de chauffage du bitume une énergie thermique nette de 5'050 kWh entre les températures de 180 et 200°C. C'est l'équivalent de la consommation d'environ 480 Nm³ de gaz naturel. Par conséquent, pendant la période de Juillet à fin Octobre 2010, la centrale solaire a déjà permis d'empêcher l'émissions de plus de 1'000 kg de CO₂.

Les résultats obtenus peuvent être exprimés sous forme de graphes. Ces derniers comprennent :

- la température de l'huile à l'entrée du système (Inlet),
- la température de l'huile à la sortie du champ solaire (Outlet),
- le débit de l'huile (Flow rate),
- et l'intensité des rayons solaires.

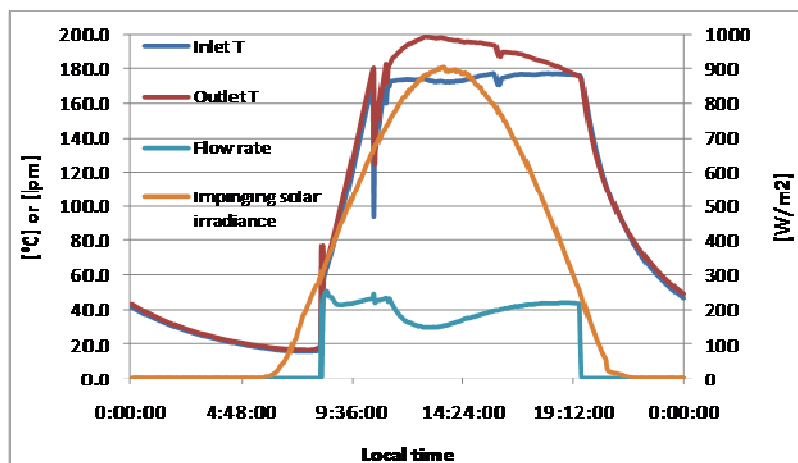


Figure 7 : Données collectées dans le cas dans bon ensoleillement

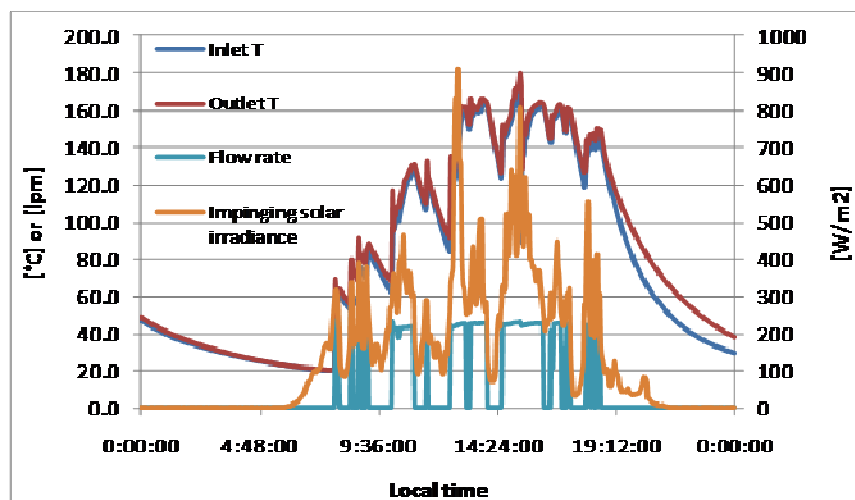


Figure 8 : Données collectées dans le cas d'un mauvais ensoleillement

En Octobre 2010, la quantité d'énergie perdue à cause de l'inertie thermique supplémentaire est de 780 kWh en moyenne par mois. Lorsque le champ solaire aura atteint sa taille optimale, cette perte sera diminuée de 2/3.

Résultats acquis lors de la saison 2010-2011 (Mai 2010 à Août 2011)

Le diagramme de la figure 9 montre les données principales avec l'écart entre les estimations et la réalité sur la période considérée, tandis que le bilan énergétique quotidien est mis également sous forme de diagramme pour chaque mois en annexe. Un tableau récapitulatif est également visible dans ce rapport avec des données de base telles que le nombre de jours effectifs de mesure par mois, le taux d'irradiation, l'énergie collectée à chaque étape du stockage, ou encore le taux d'émission de dioxyde de carbone évité (figure 12). Ces statistiques sont reprises sous la forme d'un diagramme (figure 11).

Le niveau d'irradiation solaire ou « In-plane irradiation » est l'énergie totale captée par les panneaux solaires pour chaque mois de l'année. Durant la phase « Pump ON » ou quand l'huile circule à travers les panneaux, l'énergie captée par les panneaux a également été mesurée. Enfin, une dernière phase a consisté à mesurer l'énergie qui a pu être stockée dans les cuves de bitume (« 3-way valve open »). Au cours de ce processus, il y a des pertes d'énergie, ce qui est mis en évidence dans la figure 11. De même, en hiver, on constate fort logiquement que l'énergie collectée est insuffisante pour que l'huile atteigne une température de 185°C, l'irradiation solaire étant beaucoup moins intense qu'en été. C'est la raison pour laquelle l'énergie accumulée en hiver demeure nulle, mais l'efficacité du système durant le reste de l'année permet de rattraper ce manque.

Les estimations préliminaires étaient basées sur un premier design de panneaux solaires qui n'a pas été conservé par la suite pour des raisons économiques de mise en œuvre. Les paramètres suivants ont notamment été modifiés :

- l'orientation (45° Ouest au lieu plein Sud)
- l'inclinaison (5° au lieu de 34°)
- une augmentation de la température de consigne (température de 185°C au lieu de 150°C)
- des tuyaux plus longs avec un diamètre supérieur (dimensions 2x60m Ø40 au lieu de 2x5m Ø25)

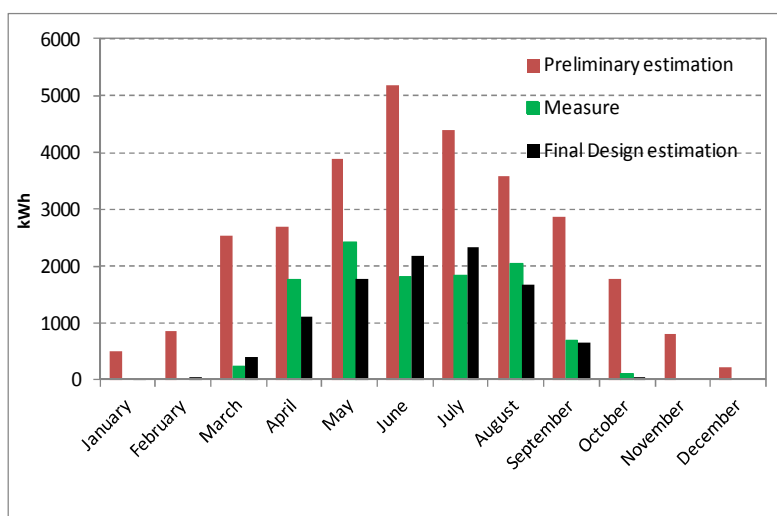


Figure 9 : Comparaison entre mesures et estimations

La figure 10 montre les effets des différentes composantes sur les résultats finaux par rapport au modèle de simulation. En adoptant les caractéristiques des panneaux du modèle de simulation avec Polysun, il est possible de trouver une correspondance avec les mesures effectuées.

De plus, les différences entre les résultats mesurés et les simulations s'expliquent par une variation entre la modélisation utilisée (Polysun vs Excel), et l'irradiation solaire réelle.

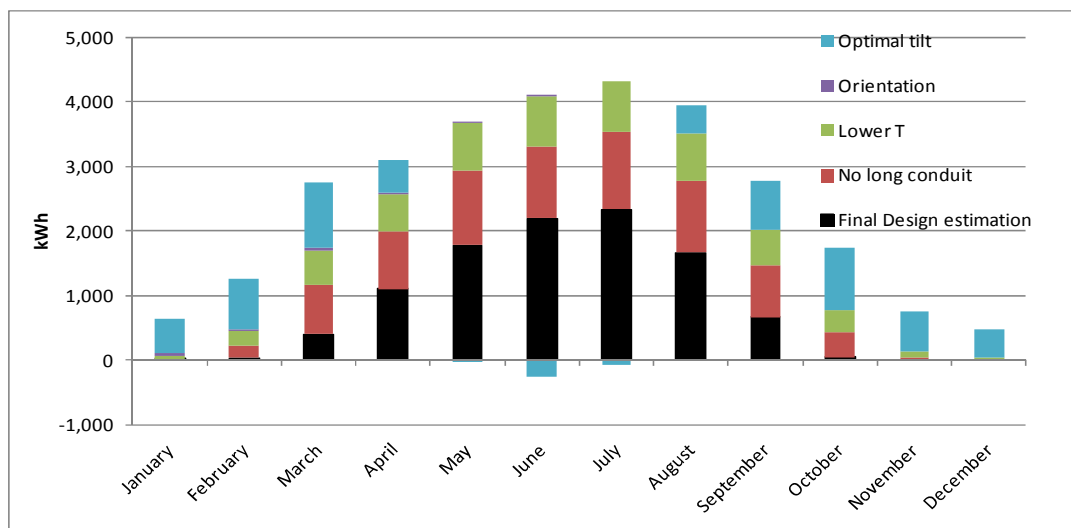


Figure 10 : Contribution des différences entre les design préliminaires et finaux sur les résultats de simulation

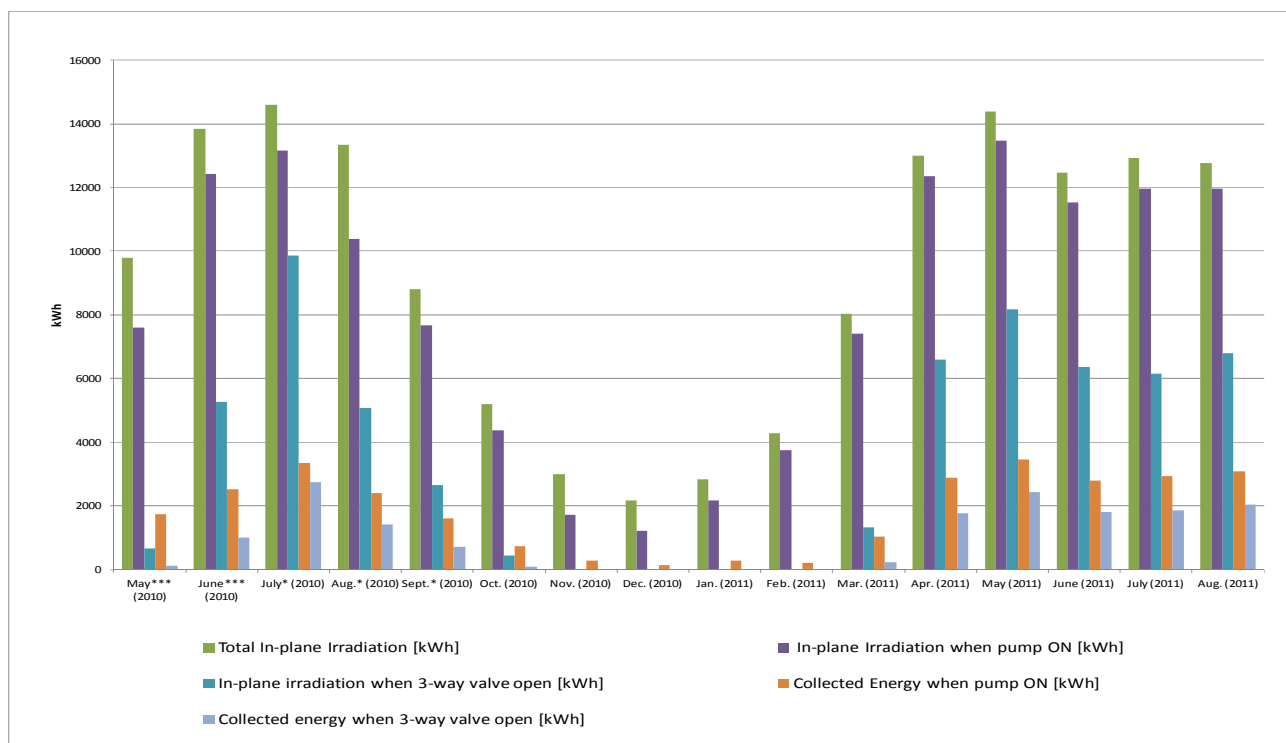


Figure 11 : Statistiques sur les données mesurées de Mai 2010 à Août 2011

	May*** (2010)	June*** (2010)	July* (2010)	Aug.* (2010)	Sept.* (2010)	Oct. (2010)	Nov. (2010)	Dec. (2010)	Jan. (2011)	Feb. (2011)	Mar. (2011)	Apr. (2011)	May (2011)	June (2011)	July (2011)	Aug. (2011)	Total Value
Total days	31	30	31	31	30	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	488
Total valid measure days	18	8	18	22	23	31	30	31	31	28	31	30	31	30	31	31	424
Total In-plane Irradiation [kWh]	9796	13829	14601	13340	8820	5205	2997	2171	2845	4279	8033	12991	14393	12468	12929	12776	151475
In-plane Irradiation when pump ON [kWh]	7595	12427	13164	10386	7659	4369	1709	1217	2171	3753	7419	12351	13469	11520	11969	11954	133133
In-plane irradiation when 3-way valve open [kWh]	676	5269	9871	5079	2647	431	0	0	0	0	1327	6589	8174	6363	6164	6794	59383
Collected Energy when pump ON [kWh]	1743	2514	3352	2401	1607	744	269	137	273	203	1040	2878	3459	2793	2924	3094	29429
Collected energy when 3 way valve open [kWh]	130	1009	2739	1419	707	102	0	0	0	0	235	1774	2426	1813	1849	2035	16237
Gas equivalence (85% heater efficiency) [Nm3]	14	113	306	159	79	11	0	0	0	0	26	198	271	203	207	227	1814
CO2 emission reduction [kg]	31	239	649	336	168	24	0	0	0	0	56	420	574	429	438	482	3845

*Extrapolation and scaling to JRC solar data performed

**Maximum measured instantaneous efficiency of 35% at 180C and 890W/m2 irradiance (11.07.2010).

***Extrapolation and scaling to JRC solar data performed - NOT INSULATED

Figure 12 : Tableau des données mesurées de Mai 2010 à Août 2011

Collaboration nationale et internationale

Collaboration nationale

Les activités de R&D sont basées à Genève et utilisent le brevet du Centre Européen de Recherche Nucléaire CERN. Grâce au transfert technologique du CERN, le docteur Cristoforo Benvenuti a développé ces panneaux solaires avec des caractéristiques offrant des rendements thermiques exceptionnels, en s'inspirant du principe de l'ultravide utilisé dans les accélérateurs de particules.

De plus, Colas Suisse a été soutenue financièrement par différentes institutions suisses dans la réalisation de ce projet, sans lesquelles ce projet n'aurait pu voir le jour :

- OFEN, Office fédéral de l'énergie, dans le cadre de son soutien aux projets P&D liés au programme de recherche énergétique Solaire industriel à haute température,
- ScanE, Service cantonal de l'énergie de l'Etat de Genève - DSPE, Département de la Sécurité, de la police et de l'Environnement - dans le cadre de son programme de promotion des énergies renouvelables,
- SIG, Services industriels de Genève,
- Fonds SIG COGENER, Comité genevois pour les nouvelles énergies renouvelables.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE



CONCEPTION
ET
RÉALISATION:



Collaboration internationale

Ces panneaux sont produits par la société SRB Energy à Almussafes, non loin de Valencia (Espagne).

Bilan et perspectives

Evaluation de 2010-2011

Aujourd'hui, l'installation solaire fonctionne correctement, elle a permis d'éviter l'émission d'environ 4 tonnes de CO₂ depuis sa mise en fonction. Du point de vue de la faisabilité technique, tant qu'on dispose d'une surface de taille suffisamment importante pour implanter le nombre de panneaux nécessaires, rien n'empêche la mise en place d'une telle installation.

COLAS SUISSE est satisfait de cette première expérience, et compte poursuivre cette technique et la développer au sein de l'entreprise. Les objectifs initiaux ont été atteints si l'on prend en compte les modifications apportées au projet initial.

Perspectives pour 2012

Les perspectives pour l'année 2012 sont :

- o sur le site de COLAS Genève :
 - améliorer le process (diminuer la température de consigne pour augmenter l'efficacité du champ solaire)
 - augmenter la surface du champ solaire (x3)
- o étendre le projet à d'autres sites avec l'intégration des panneaux sur un projet neuf à Yverdon pour une application de chauffage de bâtiment industriel avec accumulation d'énergie dans des citernes de bitumes

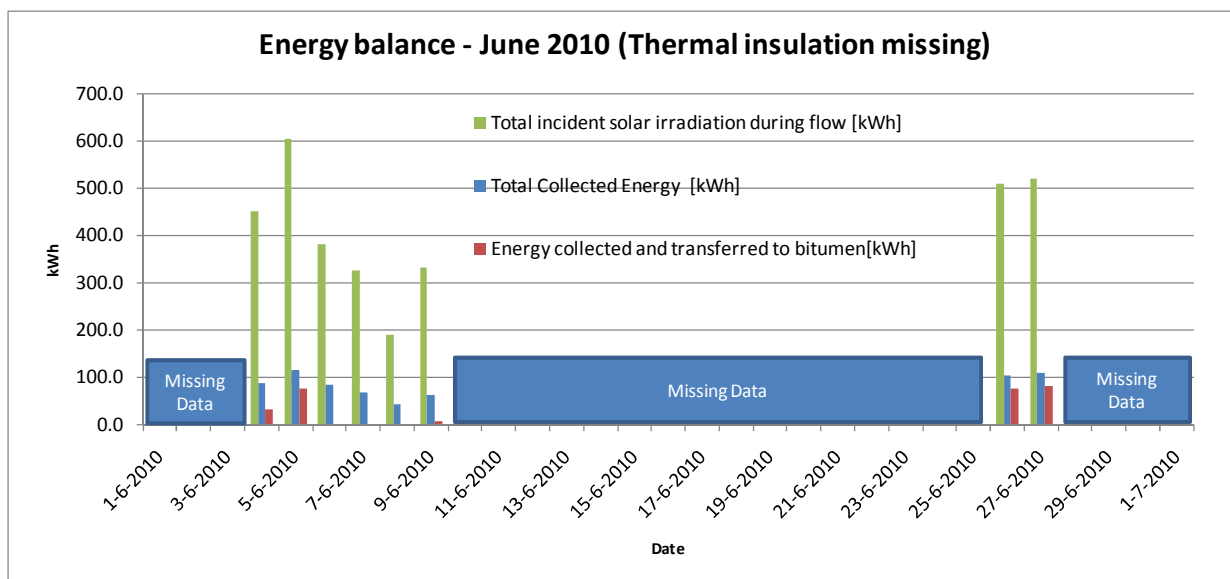
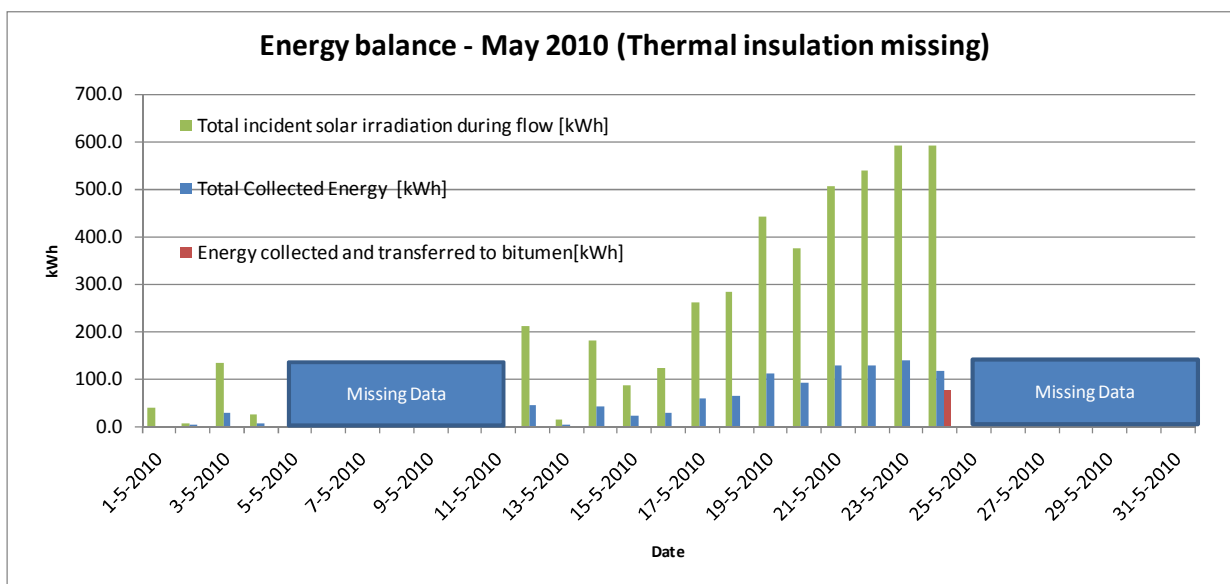


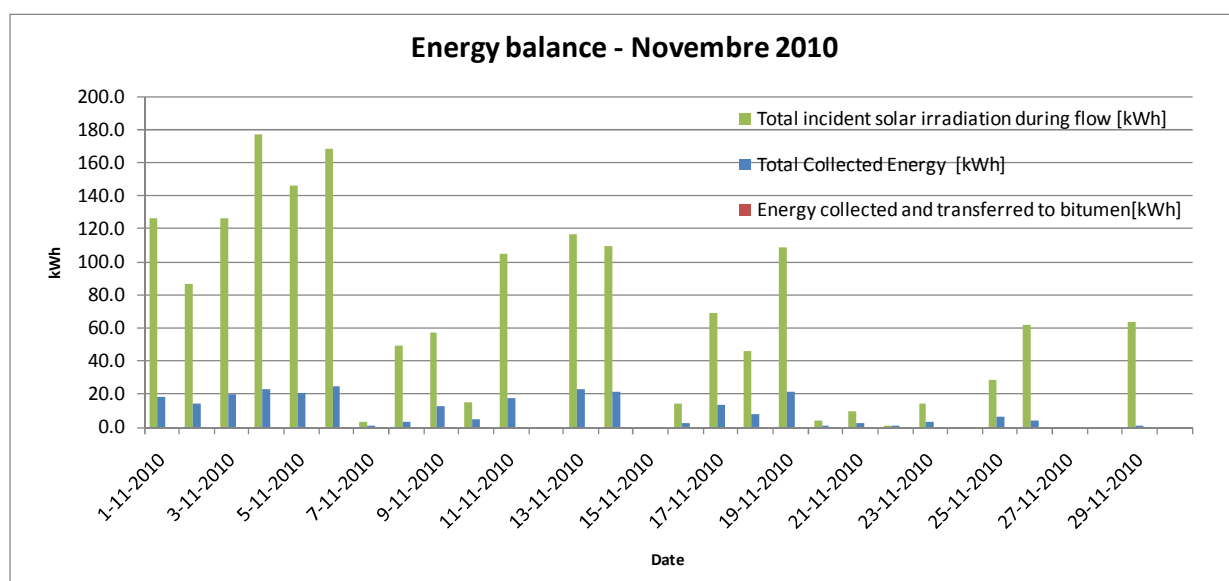
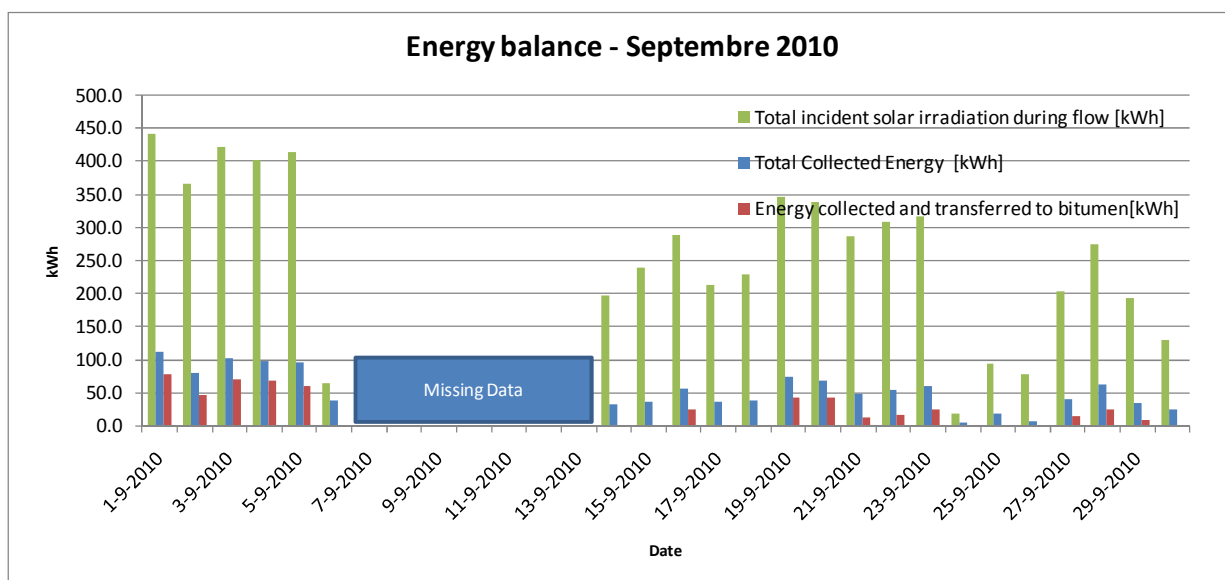
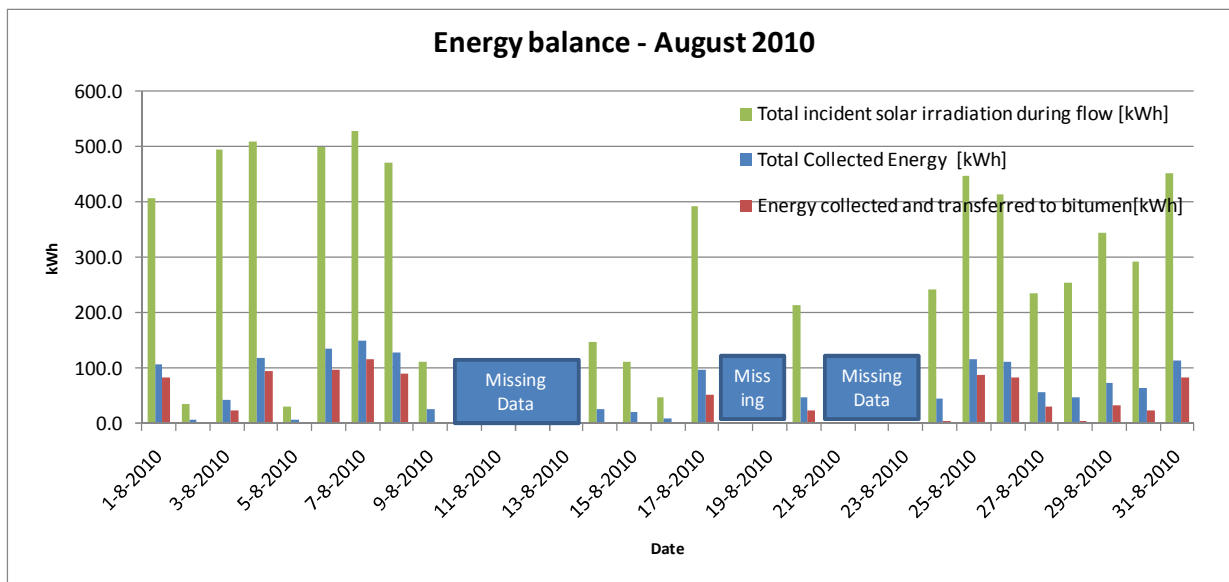
Figure 13 : Vues 3D du projet sur Yverdon

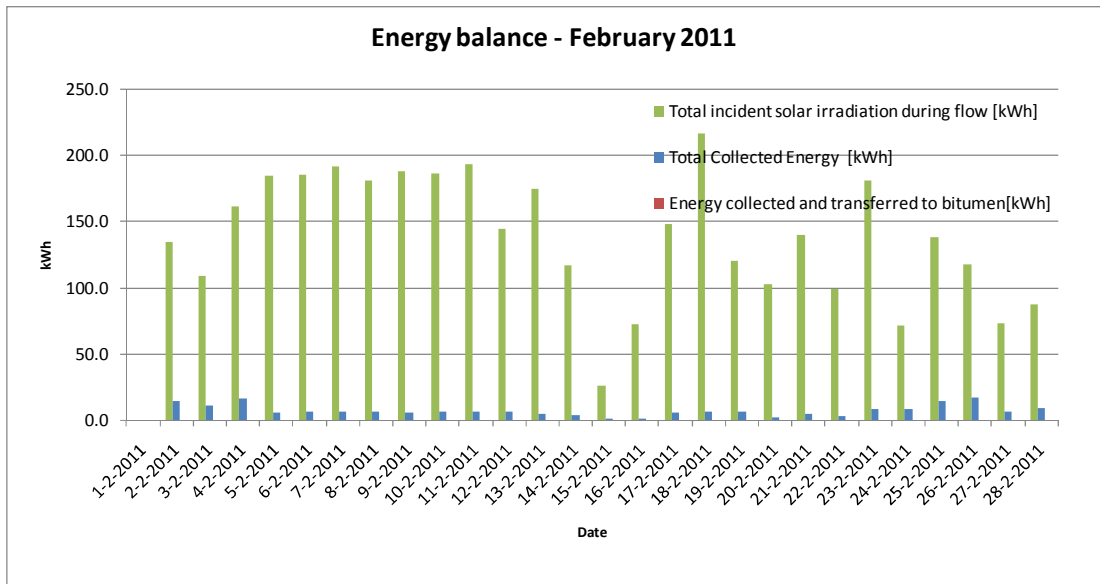
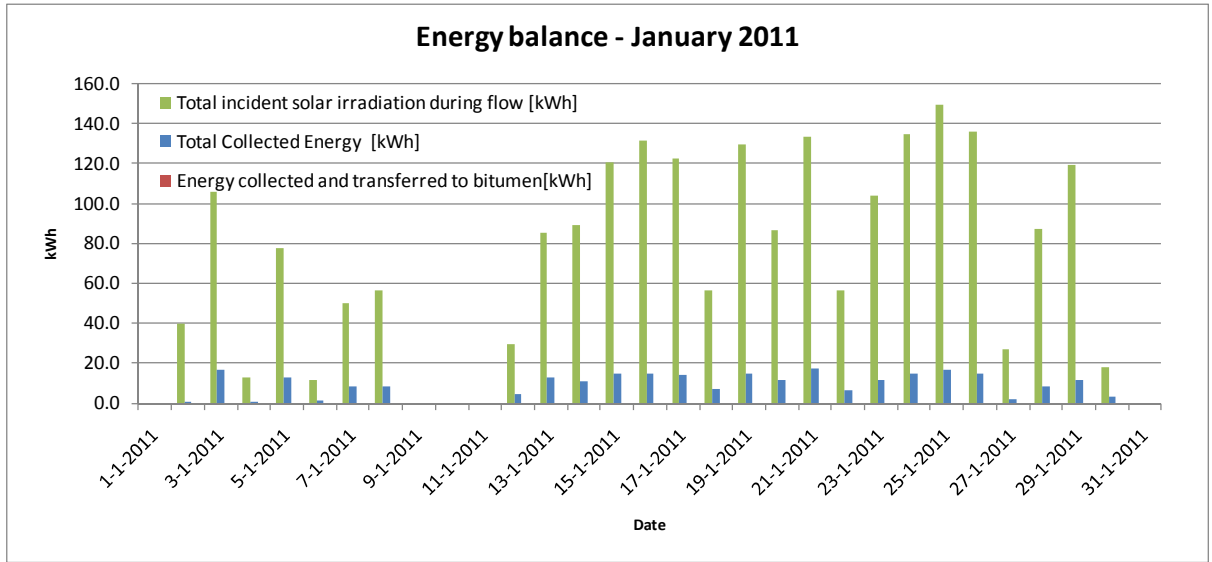
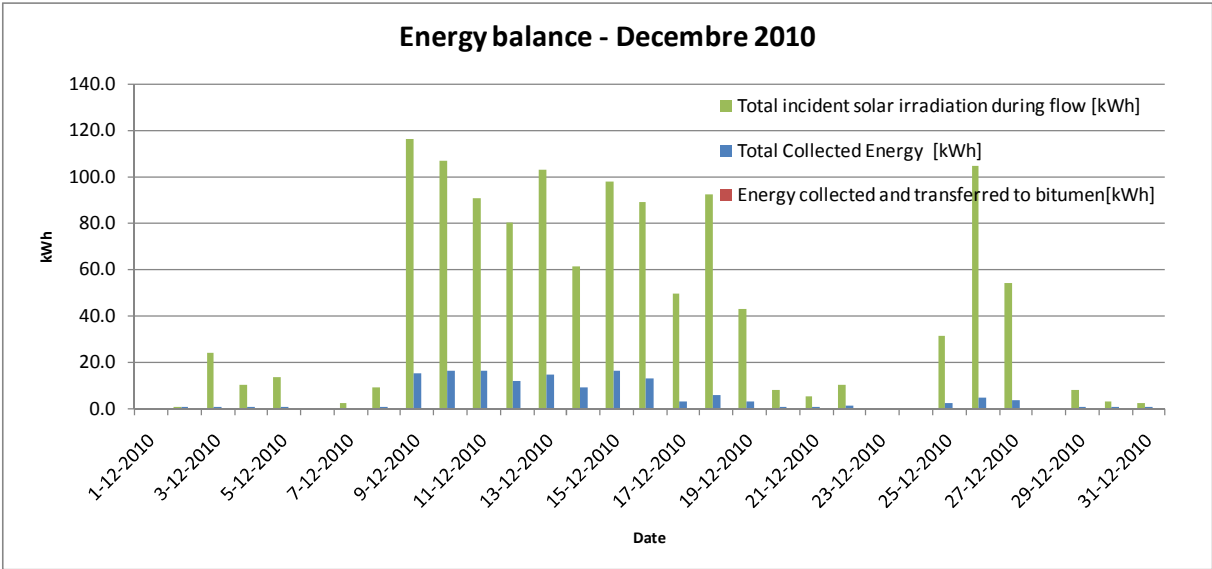
Annexes :

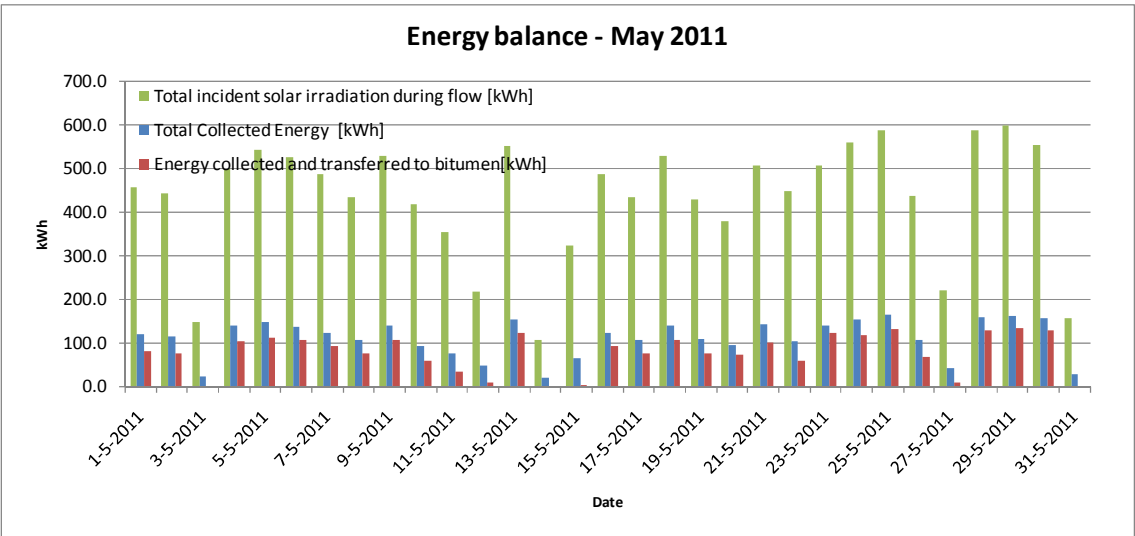
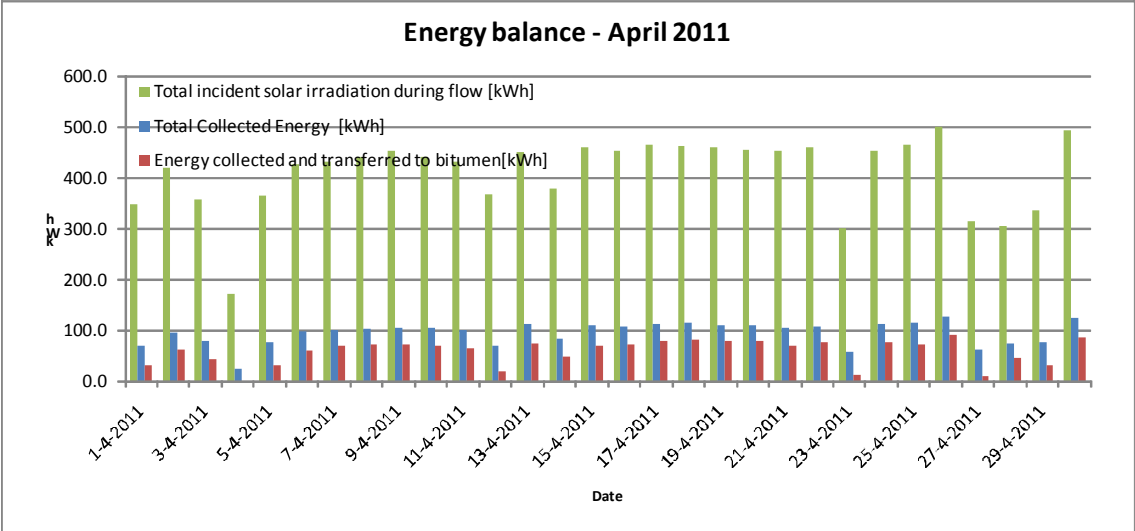
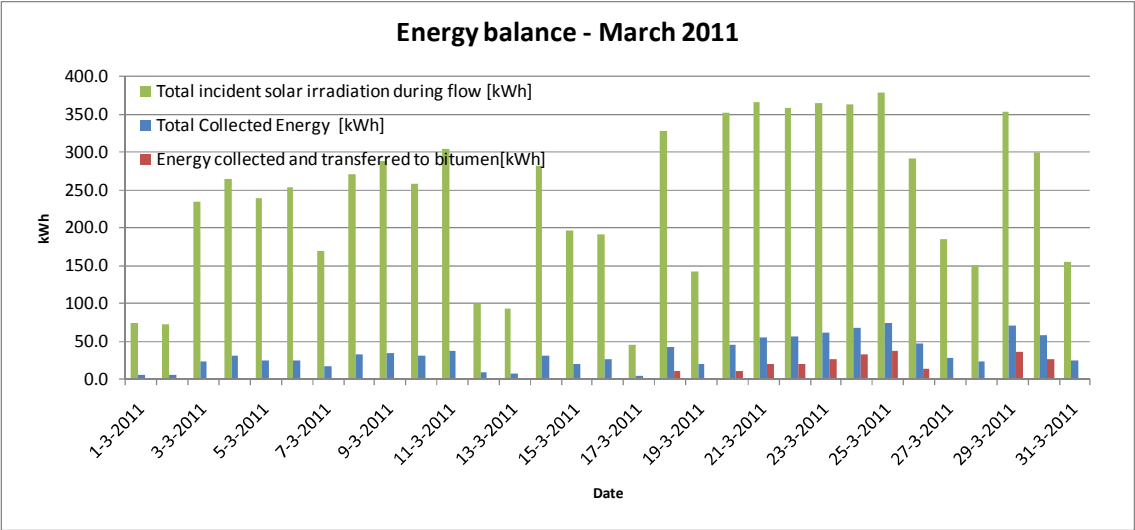
a) Bilan énergétique pour chaque mois de Mai 2010 à Août 2011 :

Ci-après, pour tous les jours où les mesures ont été possibles, on peut observer l'énergie solaire totale vue par les panneaux (« Total incident solar irradiation during flow »), l'énergie totale collectée par le système avec admission d'huile (« Total Collected Energy »), et l'énergie totale qui a pu être transmise au fluide caloporteur pour être ensuite transmise au circuit de stockage des cuves de bitume (« Energy collected and transferred to bitumen »). Ces mesures montrent que le rendement énergétique de l'installation est d'environ 10%. D'une part, on tient compte qu'il y a un rendement d'environ 20% sur l'énergie collectée par l'installation par rapport à l'énergie perçue par les panneaux. D'autre part, comme mentionné auparavant, l'installation ne permet pas la récolte d'énergie en hiver.

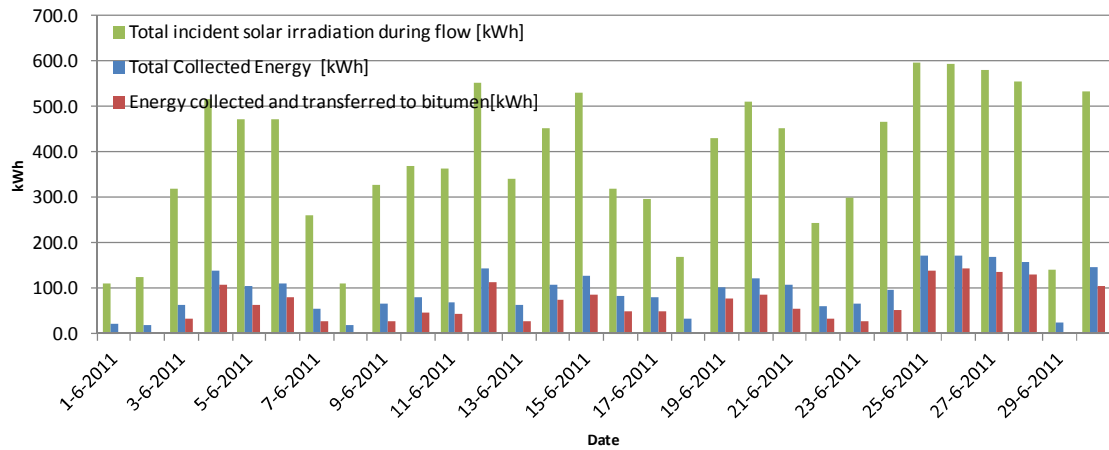




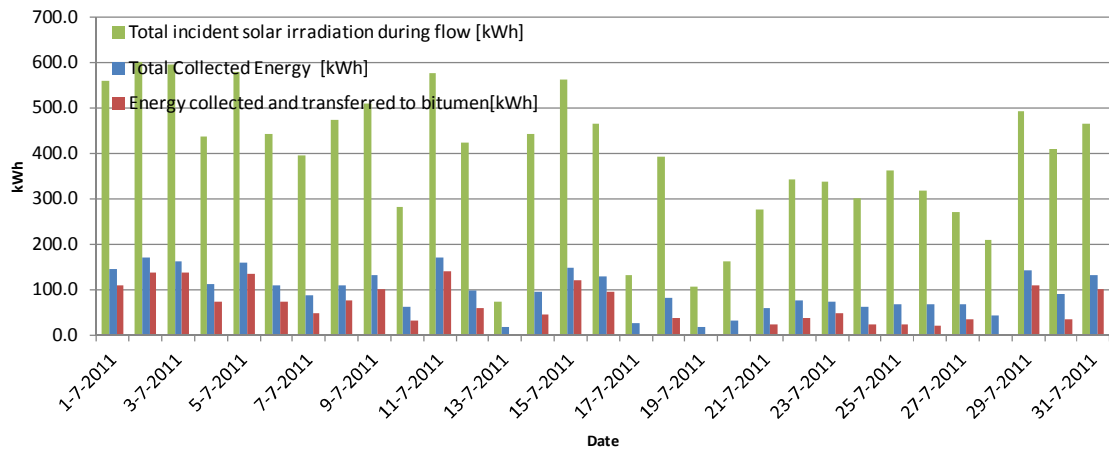




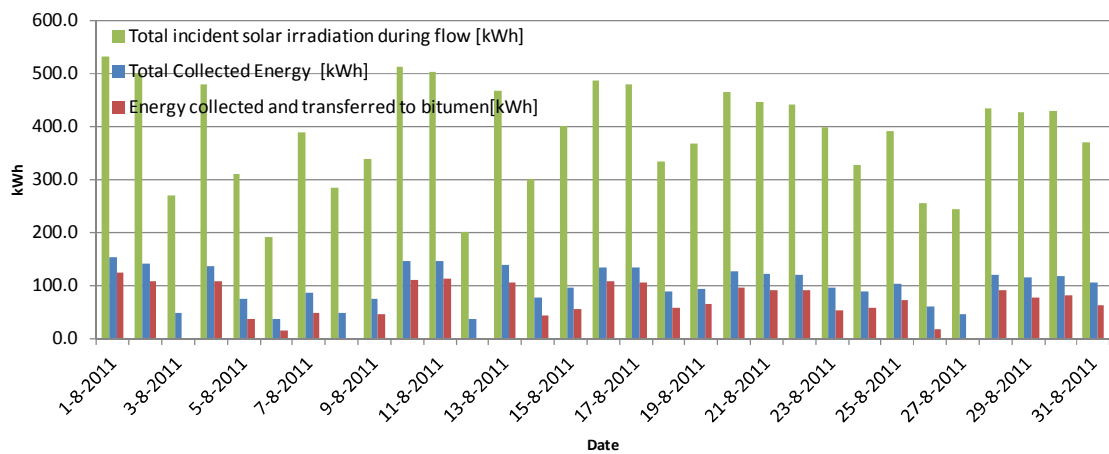
Energy balance - June 2011

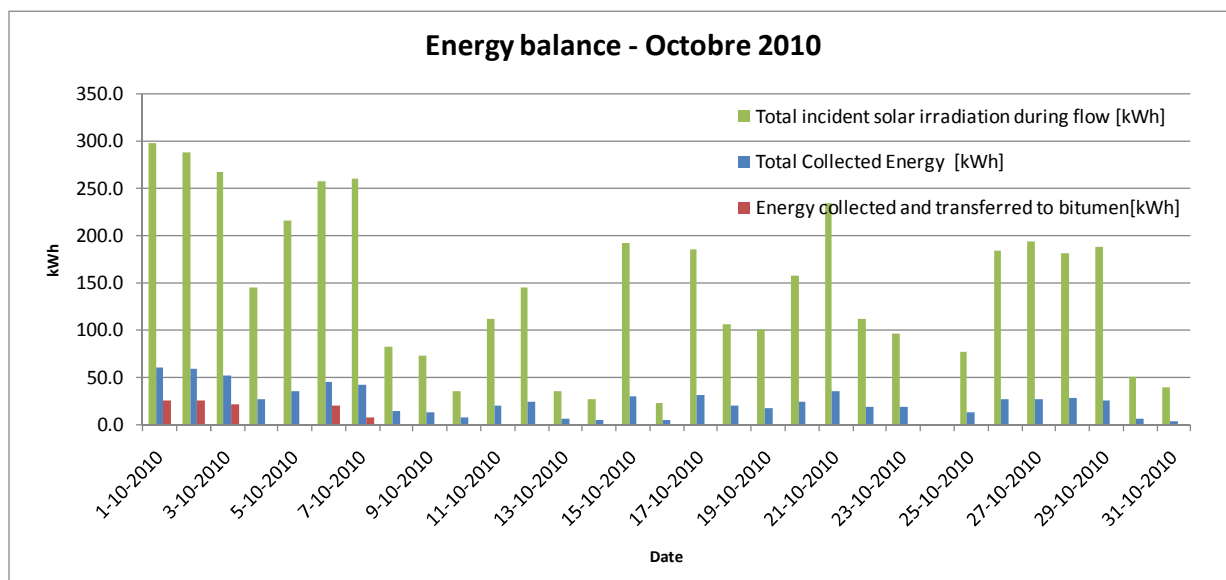


Energy balance - Julliet 2011



Energy balance - August 2011





A noter que le mois d'octobre 2010 a été le premier mois au cours de notre étude où nous avons pu recueillir des données complètes, les systèmes de mesure étant alors parfaitement au point.

b) Effets des conditions climatiques sur la production du champ solaire

Le diagramme ci-dessous montre la production énergétique des panneaux en fonction de leur irradiation solaire. Ce qui nous permet de constater qu'en dessous d'un certain seuil d'énergie reçue (environ 250kWh), les panneaux ne produisent rien. Par la suite, on a une évolution linéaire du comportement des panneaux.

