

Rapport annuel 1998 à l'attention de l'Office fédéral de l'énergie

Rapporteurs: M. Kane <malick.kane@epfl.ch>

Y. Allani <cogener@epfl.ch>

Mandataire: Prof. D. Favrat / LENI / EPFL

<http://www.leni.epfl.ch>

SPS1-2: MINI-CENTRALE PILOTE ELECTRO-THERMO-SOLAIRE DE 10 KWe

Résumé: Parmi les techniques de conversion d'énergie solaire en électricité, la voie électrothermosolaire à l'aide de cycles de Rankine et de turbines à vapeur est actuellement et à grande échelle, celle qui permet de se rapprocher le plus de coûts de production économiquement viables. C'est aussi celle qui permet le mieux le développement de concepts intégrés avec d'autres sources (fossile, biomasse) ou d'autres prestations (chauffage, refroidissement thermique, dessalement, etc). L'objectif visé est de démontrer les performances d'une centrale complète avec:

- deux rangées parallèles de capteurs à concentration à lamelles réfléchissantes extraplates (48.2 m^2 chacune) et collecteur sous vide. Le choix porté sur les tubes standard de SOLEL offre la possibilité d'utiliser de l'eau sous pression dans les capteurs en remplacement de l'huile thermique.
- une centrale de puissance comportant deux cycles de Rankine superposés équipés chacun d'un expandeur-générateur hermétique de 5-7 kWe de type scroll orbital. Ces prototypes de turbine scroll (expandeurs) sont obtenus par conversion d'unités hermétiques de compression (Trane, Maneurop) de grande série et fonctionnent de façon satisfaisante avec un nouveau système de lubrification.
- un moteur à cogénération d'une puissance électrique nominale de 15 kW permettant d'assurer la disponibilité de puissance quand le rayonnement solaire est insuffisant. En tenant compte des différences de température entre les deux sources thermiques le circuit de refroidissement du bloc moteur (90°C) sera intégré dans l'étage basse température du cycle ORC, par contre la récupération sur les gaz d'échappement (environ 600°C) se fera au niveau du cycle à haute température.

Le projet est planifié en trois phases (brève étude complémentaire concernant les composants, construction et test d'une centrale avec une rangée de capteurs et appoint électrique, construction et test d'une centrale complète et autonome sur une année).

En parallèle, les efforts de perfectionnement ultérieur du concept et de ses composants en vue d'un accroissement de performance et la mise au point d'un outil d'optimisation thermo-économique sont poursuivis.

Durée du projet: du 1.10.97 au 1.12.1999

I- Objectifs de SPS 1-2 pour 1998

L'objectif visé est de démontrer les performances d'une mini-centrale solaire-fossile hybride d'une puissance complète de 25 kWe (10 kWe de la part des turbines et 15 kWe de la part du moteur de cogénération).

Le concept traité par ce projet est basé sur des turbines volumétriques du type "scroll" fonctionnant à l'aide de cycles de Rankine, et avec des capteurs solaires extra-plats (CEP) complétés par les rejets thermiques d'un moteur diesel de cogénération.

I-1 Capteurs et champs solaires

- Structure fixe : la structure fixe doit supporter le poids propre des capteurs et les efforts engendrés par le vent sur le plan de miroirs et le collecteur. La structure fixe doit permettre la bonne rotation des panneaux pour un angle de 160° .
- Structure mobile : la partie mobile doit soutenir le plan de miroirs. La rigidité de la structure mobile doit être telle que les performances optiques du capteur ne soient pas réduites de plus de 10 % pour un vent moyen de 60 km/heure.
- Partie optique : le matériel de réflexion des optique doit assurer une bonne performance de réflexion tout en maîtrisant les coûts. On le fera en développant une structure de verre stratifié et en choisissant du verre extra-blanc et assemblant les lamelles avec de la bande adhésive.
- Collecteur : le collecteur doit permettre le transfert de l'irradiance solaire à l'eau circulante.
- Réseau hydraulique: le réseau hydraulique doit transporter l'énergie thermique depuis les collecteurs jusqu'à la centrale électrique. Le système doit pouvoir absorber les variations journalières de rayonnement (matin, midi, soir) qui entraînent de fortes variations de puissances thermiques.
- Régulation et asservissement : le bloc régulation doit gérer les variations des paramètres de contrôle, en fonction des consignes, pour assurer le bon fonctionnement du système pour la production, comme pour les cas d'urgences.

I-2 Turbines scroll, cycle ORC biétagé et moteur de cogénération

- Conversion en turbine d'une nouvelle unité scroll de compression (type Maneurop) et tester son fonctionnement sur le banc d'essai du ORC-LENI avec un nouveau concept de lubrification.
- Etude technique et opérationnelle (tuyauterie, vannes, mélangeur, filtres et autres, dispositif de sécurité.), structures de l'installation pilote (chassis, dimensions et taille des éléments, longueurs de conduites, position des différents composants, modularité et compacité des éléments...), inventaire et commande des différentes pièces.
- Connexion et montage complet de l'installation
- Etablir les processus de contrôle et de régulation des divers composants et paramètres de l'installation (contrôle de la turbine, couplage au réseau, système de lubrification...) sur la base d'un plan de démarrage.
- Amélioration d'un programme de dimensionnement et de simulation d'une centrale solaire hybride (programme Solar Power System).

II. Travaux effectués et Résultats obtenus en 1998.

II-1 Capteurs et champs solaires

II.1.1 Structure fixe

Pour la structure fixe, les pieds sont en fin de dimensionnement. Ainsi, nous sommes en relation avec TECHNOMAG (distributeur SKF) pour le choix définitif des paliers. Les délais de fabrication à partir de la commande sont de 3-4 semaines.

II.1.2 Structure mobile

La partie mobile est composée de supports de lamelles (couteaux), ceux-ci sont fixés sur un tube central. Une flasque permet de désaxer l'axe de rotation sur le centre de gravité de la partie mobile, elle soutient également les bras supportant le collecteur. La rigidité de la structure mobile doit être telle que les performances optiques du capteur ne soient pas réduites de plus de 10 % pour un vent moyen de 60 km/heure.

L'avancement a suivi les étapes suivantes.

- Bras, arbre et interface avec tubes: Conception permettant l'intégration des collecteurs fournis par SOLEL sur la base de plans fournis par le fabricant de collecteurs (Solel).
- Tube central: dimensionnement basé sur une étude de la déformation de la structure mobile en fonction des différents efforts fait en collaboration avec l'EPFL (voir rapport de M. Donzel EPFL/ICAP)
- Support de lamelles:
 - 1/ Dimensionnement sur la base d'étude de déformation
 - 2/ Développement d'un support en tôle profilée
 - 3/ Tests
 - 4/ Modification totale de conception et nouveaux développements
 - 6/ Tests
 - 7/ Demande d'offre

Les délais de fabrication par poste sont:

- Bras, Arbre et interface avec tubes: Délai de fabrication à partir de la commande: 3-4 semaines.
- Tube central: Délai pour assemblage des éléments rapportés: 6 semaines.
- Support de lamelles: Délai de fabrication 6 semaines.

II.1.3 Partie optique

- Lamelles de verre :

Les lamelles assurent la réflexion de l'irradiance vers le collecteur. Le dimensionnement final fixe leur nombre à 64 par plateau.

Le matériaux de construction est une structure en verre sandwich avec un verre extra blanc en face supérieure de 1mm (facteur de transmission supérieur à 91.5%), un dépôts d'argent pour la réflexion, un vernis de protection, une bande adhésive de 0.5 mm et le substrat en verre "float" de 4 mm d'épaisseur.

Le choix de l'épaisseur correspond à un optimum entre la rigidité nécessaire à la bonne concentration sur le tube et l'obligation de limiter la masse des éléments. Un développement futur, avec des matières plastiques, pour de meilleures performances est possible.

Nous nous sommes adressés aux spécialistes mondiaux des miroirs solaires (Pilkington, Glaverbel, Saint Gobain, ERIE Electroverre...) qui nous ont fait des offres de qualité égales mais de coût très variable.

ERIE, qui produit en Suisse, s'est démarqué en présentant un miroir avec 95.3% de réflexion et en prenant en charge les frais de découpe avec +/- 0.5 mm de tolérance.

La jointure est faite par bande adhésive de 3M permettant de diminuer le temps d'application et assurant l'homogénéité de l'interface (moins de 36 μ m d'une largeur à l'autre).

L'assemblage est fait par SAVOY VERRE qui a fait une offre intéressante sur le substrat avec découpe et met en place une méthode de production.

Les gabarits servent à fixer la place et l'angle de chacune des lamelles, comme décrit dans l'offre de juillet 97.

- Gabarits de positionnement

Parmi les matériaux de fixation des lamelles en verre sur la structure métallique, l'élastomère présente les plus grandes qualités techniques et économiques. En cas d'augmentation de la production, l'élastomère est le plus économique grâce à la rentabilisation de la filière à terme et grâce à sa vitesse d'usinage la plus courte.

L'élastomère de type EPDM de "87 shore A" est choisi parmi des matières plastiques (PVC et PUR) et des élastomères de différentes duretés shore.

Le temps de développement est important à cause de la variété des produits (difficulté pour avoir des échantillons représentatifs à des faibles coûts), de la variété du choix des épaisseurs et des essais d'usinages (voir les échantillons tests).

- Etat actuel

L'assemblage des 1'536 lamelles de miroirs est en cours. 800 pièces sont en stock.

La livraison complète sera faite pour la fin 1998.

Pour les gabarits de soutien des lamelles, il faut attendre la fin des essais de profils.

Ensuite, il faut lancer la production (fabrication d'une filière pour l'extrusion) qui prend 6 semaines.

II.1.4 Le collecteur

Les essais de fabrication du collecteur ont été réalisés avec des sous-traitants suisses. Mais une mauvaise tenue des éléments au vide (10^{-3} TOR) nous oblige à nous reporter vers du matériel qui a fait ses preuves, à savoir des collecteurs fabriqués par SOLEL. Après différents essais d'adaptation chez le fabricant, le produit standard est commandé. Les collecteurs sont en stock.

II.1.5 Réseau hydraulique

- Dimensionnement du réseau hydraulique (configuration, tuyauterie, vase d'expansion, fluide caloporteur...) et préparation à la construction (cahier des charges, demandes d'offre).
- Demande de complément de budget (adaptation des offres). Une commande en instance sera envoyée à « CONSTRUCTION INOX » dès l'obtention du complément. On note un délai de 6 semaines pour la finalisation du montage des éléments sur le site.

II.1.6 Régulation et asservissement

- Schéma du bloc de contrôle et de régulation (Contrôle et régulation du caloporteur dans le champs solaire, contrôle et régulation de la position angulaire des capteurs).
- Choix d'un moteur électrique avec réducteur de la marque LENZE pour le système d'entraînement des capteurs. Il présente l'avantage d'être précis (6' de jeux angulaire) et flexible (avance en "pas à pas" ou en continu) par rapport aux autres systèmes tels que vis sans fin (problème de graissage), vérin hydraulique (problème de robustesse en régulation), moteur hydraulique (rigidité trop faible pour la transmission du couple). Néanmoins, il présente l'inconvénient de l'encombrement et du poids.
- **Appareillage et système de mesure (choix d'un système de calcul astronomique facile à mettre en œuvre mais dérive dans le temps, pyranomètre...). Un système de suivi par capteur de flux thermique ou par cellules photovoltaïques est en cours de choix.**

Les délais de livraison du moteur-réducteur sont de 6 semaines à partir de la commande. Les capteurs peuvent être acquis dans un délai de 4 à 6 semaines.

II-2 Turbines, cycle ORC biétagé et moteur de cogénération

II.2.1 Turbine et système de lubrification

- Conversion en turbine d'une nouvelle unité scroll de compression du type Maneurop (enlèvement du clapet antiretour, adaptation de l'orifice d'injection d'huile sur l'axe inférieur de l'arbre pour la lubrification des paliers en fonctionnement turbine ...).
- Reconstitution d'un carter complet afin de faciliter la souplesse des opérations de montage et/ou de démontage et ensuite de prévoir l'emplacement des éléments de mesure et d'instrumentation.
- Montage de la turbine sur le band d'essai ORC du LENI et test de fonctionnement avec validation expérimentale d'un nouveau concept de lubrification utilisant une chambre de tranquillisation couplée avec un ballon d'accumulation d'huile à la sortie de l'évaporateur. Une colonne d'injection d'huile dans les paliers est établie entre le ballon et la partie inférieure de la machine et fonctionne par différence de pression entre entrée et sortie de la turbine.

II.2.2 Moteur de cogénération

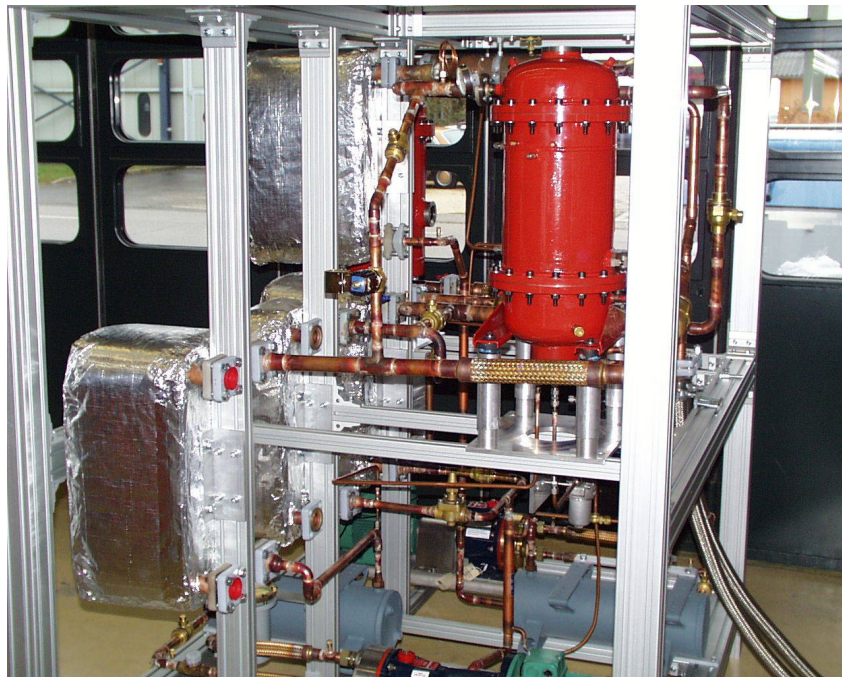
- Test d'étanchéité, mesure de compression et révision de culasse d'un moteur diesel (TOTEM) de 15 kWe de type Daihatsu CL 10 (3 cylindres, 1 l avec préchambre de combustion).
- Modification et séparation des circuits hydrauliques de refroidissement du bloc moteur (intégration au niveau du cycle ORC à basse température) et de récupération sur les gaz d'échappement (intégration au niveau du cycle ORC à haute température).

II.2.3 Aspects techniques du cycle biétage

- Etude technique (composants, tuyauterie, vannes, mélangeur, filtres, dispositif de sécurité et autres ...).
- Structures de l'installation pilote (chassis, dimensions et taille des éléments, longueurs de conduites, position des différents composants, modularité et compacité des éléments...).
- Schéma complet de l'installation SPS (sondes de température et de pression..., pertes de charges..).
- Inventaires des différents composants et pièces, choix des fabricants, commande de matériels...

II.2.4 Montage

- Connexion, montage complet de l'installation et définition des processus de contrôle et de régulation des divers composants et paramètres sur la base d'un plan complet de démarrage.
- Préparation et mise en place du programme d'acquisition et de commande sur ordinateur de type Macintosh équipé du logiciel Labview et complétée par une chaîne d'acquisition Hewlett Packard.



II.2.5 Développements théoriques

- Amélioration du programme Solar Power System
- Développement théorique d'une approche d'intégration énergétique dans le but d'une optimisation thermo-économique et/ou environnétique.

III. Collaboration avec d'autres institutions, notamment avec l'industrie, et collaboration internationale entretenues en 1998.

Les entreprises concernées par ce projet sont décrites ci-dessous, avec leur domaine d'activité.

METAL SYSTEME SA, M. Diserens, Echandens (CH/VD).

Développement des piles et bras de soutien.

SAVOY VERRE SA, M. D'Aviri, Lausanne (CH/VD).

Fourniture et découpe de lamelles en verre pour substrat des miroirs. Assemblage des lamelles.

3M SA, M. Denonin, Mont-sur-Lausanne (CH/VD).

Fourniture des rubans adhésifs pour collage des miroirs sur substrat en verre.

IV. Transferts éventuels à la pratique ou à l'industrie réalisés durant 1998

En plus des entreprises précédentes nous avons des relations de sous-traitance avec:

SOLEL, M. Mandelberg, Jérusalem, (Israël),

Fourniture des collecteurs solaires.

ATTEXOR Equipements SA, M. Dubugnion, Bussigny (CH/VD).

Développement de la technique, des principes d'application, avantages et prix du clinchage et tests.

BORAM SA, M. Bouverat, Montet (CH/FR)

Fabrication de 12 tubes centraux de 4 m avec soudure de collerettes et flasque d'assemblage et revêtement en Zinc.

CIMIC SA, M. Defranceschi, Mont-sur-Lausanne (CH/VD).

Construction du réseau hydraulique d'huile, connexion des absorbeurs entre eux, soudures sur INOX.

RAMELET SA, M. Herren, Lausanne (CH/VD).

Construction des pieds et bras de la structure portante des capteurs solaires.

TECHNIQUES LASER SA, M. L'Epplattenier, Goumoens-la-Ville, (CH/VD).

Découpe au jet d'eau des couteaux transversaux appartenant à la structure portante,
Découpe au jet d'eau des gabarits en plastique, supports des lamelles réfléchissantes.

ERIE ELECTROVERRE SA, Mme Gavillet-Paul, Romont, (CH/FR).

Fourniture et découpe du verre et miroirs de 1 mm d'épaisseur pour les lamelles réfléchissantes.

LENZE BACHOFEN SA, M. Rouillet, Crissier, (CH/VD).

Fourniture de l'entraînement des capteurs pour le suivi du soleil d'Est en Ouest.

AP EXTRUSION, M. Cabrol, Maximin, (F).

Fourniture des gabarits en élastomère pour le clipsage des lamelles de verre sur les porte-gabarits.

V. Perspectives prévues pour 1999

V-1 Capteurs et champs solaires

Pos.	Début	fin	Description
1	20 / 09 / 1997	31 / 10 / 1998	Développement et tests finaux des différentes parties.
2	31 / 09 / 1998	01 / 11 / 1998	Contact avec les différents fournisseurs
3	01 / 10 / 1998	22 / 03 / 1999	Mise en place de la première ligne de capteurs
4	22 / 03 / 1999	15 / 04 / 1999	Mise en service
5	15 / 04 / 1999	01 / 06 / 1999	Tests de l'installation et modifications
6	01 / 05 / 1999	15 / 07 / 1999	Modifications plans et commande deuxième ligne de capteurs
7	01 / 07 / 1999	15 / 08 / 1999	Mise en place de la deuxième ligne de capteurs
8	15 / 08 / 1999	30 / 09 / 1999	Mise en service du champs de capteurs au complet et tests préliminaires. Les tests se poursuivront jusqu'au 15/8/2000.
9	01 / 10 / 1999	01 / 12 / 1999	Rapport de performances des capteurs CEP

V-2 Turbines, cycle ORC biétagé et moteur de cogénération

5.1 Mise en service

- Mise au point d'une procédure de démarrage et de la méthode de mesure.
- Test de l'ensemble compact au laboratoire du LENI avec comme appoint la chaudière électrique.

5.2 Prévision théorique et Mesures

- Mise en place de l'unité pilote sur le site du parc scientifique.
- Test de performances et du comportement à charge fortement variable de cette unité en fonction de la puissance-transformation fournie.
- Estimation pertes et énoncé des possibilités d'amélioration de design.
- Amélioration des fonctions thermo-économiques liées aux composants en fonction des niveaux de complexité pour incorporation dans l'optimisation thermo-économique globale.

5.3 Intégrations futures et Optimisation thermo-économique

- Conception , construction et test dans le cadre de SPS2 d'un système de refroidissement autonome intégré ou non au champ de capteur
- Performances d'ensemble de la centrale SPS2. Validation des prévisions (production annuelle spécifique supérieure à 85 kWh/m². Discussion des options stratégiques choisies et définition avec classement des alternatives.
- Identification des principales pertes ou défauts d'intégration et propositions d'amélioration

Résultats d'une optimisation thermo-économique en vue de développement d'autres centrales ultérieures avec quelques exemples d'intégration possible.

VI- publications éditées ou soumises en 1998.

Aucune publication n'a été effectuée pour le projet SPS 1-2 en 1998.