

COGENER

Parc Scientifique - Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne

CONFÉDÉRATION HELVÉTIQUE	
Mandant	Mandataires
OFEN	COGENER
Office Fédéral de l'Energie	Parc Scientifique/École Polytechnique Fédérale de Lausanne
	 LEN-EPFL
	Laboratoire d'Energétique Industrielle, École Polytechnique Fédérale de Lausanne

SPS (Solar Power System)

CEP3 (Capteur Extra Plat)

RAPPORT FINAL

NOVEMBRE 2000

COGENER, PSE/EPFL, 1015 Lausanne, Suisse

Tél: 021-693 70 81, Fax: 021-693 70 60

0 Résumé

L'énergie solaire est une ressource énergétique renouvelable naturelle inépuisable. Depuis des millénaires, l'homme a en tout temps tenté d'exploiter cette énergie afin de se faciliter la vie et de se créer un confort supplémentaire.

La concentration solaire permet de nombreuses applications et fait l'objet de nombreuses recherches à travers le monde. Le but est d'obtenir une chaleur maximale avec un rendement maximal et un coût minimal. Différentes techniques sont utilisées, telles que les miroirs paraboliques, les héliostats, etc.

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre d'un mandat de l'Office Fédéral de l'Energie pour la réalisation d'un capteur extra plat couplé à un cycle ORC (Organic Rankine Cycle) en partenariat avec le Laboratoire d'Energie Industrielle (LENI-EPFL).

COGENER s'est penché sur le développement d'un capteur extra plat (CEP) qui utilise la technologie des lentilles de Fresnel (appliquée au miroir). La particularité de ce miroir réside dans une surface apparente plane et une moins grande prise au vent, ce qui implique des structures portantes plus légères et moins coûteuses comparé à un capteur cylindro-parabolique.

La construction du capteur CEP 3 fait suite aux recherches et développements des deux premiers modèles de la ligne (CEP 1 et CEP 2) conduits par M. Y. Allani, au sein de l'EPFL. Ils ont servi de base pour le modèle présenté dans ce rapport.

Ce type de capteur demande une mise au point minutieuse de la géométrie, qu'il s'agisse du positionnement des lamelles (précision de la tache focale), de l'alignement du collecteur ou du suivi du soleil car la moindre imprécision engendre des pertes de rendement.

Le présent rapport se base sur les documents établis jusqu'à aujourd'hui dans le cadre du projet SPS, en particulier sur le rapport final de réalisation de la première ligne de la centrale [1].

Concrètement, il présente les modifications apportées à la centrale après la réalisation de la première ligne de capteur et le constat, à partir de cette dernière, des améliorations possibles en vue d'une meilleure efficacité.

Les points principaux abordés s'articulent autour d'une nouvelle conception du système de maintien des lamelles sur leur support en vue d'une meilleure précision et stabilité de la concentration du rayonnement solaire ainsi que la réduction des zones d'ombre engendrées par les supports de collecteur.

La deuxième partie de ce rapport s'articule autour de la mise en œuvre de la deuxième ligne du capteur ainsi que des modifications sur la première ligne.

La dernière partie de ce rapport rend compte des essais effectués sur la centrale (2 lignes de capteurs solaires) et présente sur cette base les améliorations apportées à la centrale par rapport à l'ancienne configuration.

Le rendement mesuré sur la première ligne du capteur lors de la campagne d'essais de 1999 tenait compte de la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'eau dans le capteur. Il ne prenait pas en considération les pertes thermiques dans les conduites. Sa valeur était de 45 % en moyenne.

Le rendement mesuré sur le capteur sous sa forme actuelle tient compte de la différence de température entre l'entrée et la sortie de l'eau dans l'échangeur de refroidissement du cycle ORC. Il prend en considération les pertes thermiques dans les conduites. Sa valeur est de 53 % en moyenne.

Comme les essais de cette année prennent en considération les pertes thermiques, on peut considérer l'amélioration de rendement supérieure à 10 %.

Ce rapport doit permettre d'apporter les compléments nécessaires à la construction d'un capteur de ce type, d'évaluer les problèmes lors de sa fabrication et d'évaluer ses possibilités d'exploitation au niveau industriel

Table des matières

0	Résumé.....	II
1	Introduction.....	7
2	Modifications 1^{re} ligne.....	10
2.1	Fixation des lamelles.....	10
2.1.1	Choix initial de la première ligne.....	10
2.1.2	Nouvelles solutions envisagées.....	12
2.1.3	Nouveau choix : Mini – clip en acier à ressort.....	12
2.2	Les supports de lamelles.....	16
2.2.1	Adaptation des supports de lamelles au système de fixation.....	16
2.2.2	Protection des lamelles au contact du support.....	17
2.3	Modification de supports de collecteur.....	17
2.4	Contrôle de la géométrie par faisceau laser.....	19
3	Construction 2^e ligne.....	20
3.1	Mise en place de la 2 ^e ème ligne.....	20
3.1.1	Pieds.....	20
3.1.2	Paliers.....	20
3.1.3	Réducteur.....	21
3.1.4	Roulements.....	21
3.1.5	Axes et flasques.....	21
3.1.6	Tubes DN 225.....	22
3.1.7	Supports de lamelles.....	22
3.1.8	Clips et lamelles.....	22
3.1.9	Cellule photoélectrique et capteur de fin de course.....	23
3.1.10	Armoire de commande et moteur.....	23
3.1.11	Tracking.....	24
3.1.12	Support de collecteur.....	24
3.1.13	Circuit hydraulique.....	25
3.2	Modifications supplémentaires apportées au pied central par rapport à la 1 ^{re} ligne.....	26
3.3	Problèmes rencontrés durant le montage.....	26
3.3.1	Pieds.....	26
3.3.2	Paliers.....	27
3.3.3	Flasques.....	27
3.3.4	Armoire de commande et moteur.....	27
3.3.5	Support de collecteur.....	27
3.3.6	Collecteurs.....	28

3.3.7	<i>Circuit hydraulique</i>	28
3.3.8	<i>Supports de lamelles</i>	28
3.3.9	<i>Lamelles</i>	28
3.3.10	<i>Tracking</i>	29
3.3.11	<i>Disponibilité des fournisseurs</i>	29
3.3.12	<i>Maintenance de la centrale</i>	30
3.4	Idées non retenues	30
3.4.1	<i>Alignement des support de lamelles par laser</i>	30
3.4.2	<i>Fixation des supports de lamelles sur les tubes DN225</i>	31
3.5	Améliorations possibles	31
3.5.1	<i>Tubes DN 225</i>	31
3.5.2	<i>Réducteur</i>	31
3.5.3	<i>Supports de lamelles</i>	32
3.5.4	<i>Lamelles</i>	32
3.5.5	<i>Méthode de clipsage</i>	32
3.5.6	<i>Supports de collecteur</i>	33
3.5.7	<i>Montage</i>	33
3.5.8	<i>Apport de puissance</i>	33
4	Mise en service	34
5	Essais	35
5.1	<i>Equations utilisées</i>	35
5.2	<i>La prise de mesures</i>	35
5.2.1	<i>Valeurs mesurées</i>	35
5.2.2	<i>Thermocouples</i>	36
5.2.3	<i>Solarimètres</i>	36
5.2.4	<i>Débitmètre</i>	37
5.2.5	<i>Relevé manuel des mesures</i>	37
5.2.6	<i>Data logger</i>	37
5.2.7	<i>Câblage</i>	37
5.3	<i>Historique des mesures</i>	38
5.3.1	<i>Exemple de stabilisation</i>	43
5.4	<i>Compte rendu des essais</i>	44
5.5	<i>Efficacité du capteur</i>	48
5.6	<i>Remarques</i>	49
5.7	<i>Tests de la station SPS</i>	50
5.8	<i>Problèmes rencontrés en 1999</i>	50
5.9	<i>Remèdes</i>	50
5.10	<i>Résultats</i>	51
5.11	<i>L'inertie du capteur</i>	51
6	La fiabilité du capteur	52

6.1	Les instruments de mesure.....	52
6.2	Le tracking.....	52
6.3	L'entraînement du capteur.....	52
6.4	La tuyauterie.....	52
6.5	L'isolation.....	52
6.6	Les lamelles.....	53
6.7	Le système de clipsage.....	53
6.8	Les structures fixes et mobiles.....	53
6.9	Les collecteurs.....	53
7	Conclusion.....	54
8	Bibliographie.....	55
9	Remerciements.....	56
10	Nomenclature.....	57

1 Introduction

Le capteur extra plat (CEP) utilise la technologie des lentilles de Fresnel appliquée à des lamelles miroir (miroir de Fresnel). Nous avons donc à faire à un capteur à concentration, composé de lamelles réfléchissantes inclinées dans le but de simuler une parabole virtuelle. Ce capteur est de type linéaire, contrairement à un capteur de type « antenne parabolique »; il a l'avantage de n'avoir qu'un axe de rotation pour le suivi du soleil. Le capteur tourne autour d'un axe principal défini dans la direction nord - sud et suit la trajectoire du soleil d'est en ouest.



Figure 1-1 Implantation du capteur CEP 3

Le but premier des capteurs à concentration est de pouvoir obtenir des températures très élevées (jusqu'à plusieurs milliers de degrés celsius). Les capteurs à concentration travaillent en suivant le soleil durant la journée afin d'obtenir une concentration constante, contrairement aux capteurs plans (chauffe-eau solaires utilisés dans les habitations) ou aux capteurs photovoltaïques qui sont tous deux statiques.

Les capteurs à concentration présentent donc l'avantage de pouvoir obtenir des hauts niveaux de températures, mais demandent une infrastructure plus importante en raison de la nécessité de suivre la trajectoire du soleil.

Plusieurs méthodes sont possibles pour suivre la trajectoire du soleil :

- Déplacement du plan miroir dans son ensemble
Déplacer le plan miroir oblige d'avoir une infrastructure de motorisation plus importante du fait de la masse à mouvoir, mais a l'avantage d'avoir une plus grande simplicité d'entraînement. De plus, la tache focale sur le collecteur reste la même. Cette méthode doit être utilisée lorsque l'on utilise un miroir parabolique.
- Déplacement de chaque miroir séparément

Ce système est proposé pour de très grandes surfaces de captage, il faut en effet commander chaque miroir de façon distincte. Cela demande une importante infrastructure de motorisation des miroirs. De plus, il faut calculer l'angle de chaque miroir indépendamment les uns des autres.

La méthode du miroir de Fresnel permet de travailler sur la géométrie du capteur. En effet, les miroirs doivent être orientés selon le développement d'une courbure parabolique pour obtenir l'effet voulu de la concentration en une tache focale.



On peut remarquer sur la figure (Figure 1-2) la qualité de la tache focale ainsi que la planéité du planmiroir

Figure 1-2 Capteur extraplat avec tache focale sur le collecteur

Le résultat de cette construction est une surface plane en apparence. Cependant, ce plan est composé de lamelles miroirs dont la largeur, la longueur et l'inclinaison sont spécifiques et optimisées afin d'éviter l'ombre d'une lamelle sur l'autre et d'avoir le meilleur rapport entre la surface de réflexion effective et la surface hors tout.

La méthode du miroir de Fresnel nous donne également un aspect esthétique très soigné.

Le collecteur se situe au point de focale, l'eau y est chauffée par la concentration des rayons du soleil par 64 miroirs. Le taux de concentration effectif du capteur est de 38^1 et la température de l'eau surchauffée obtenue est de $160 [^{\circ}\text{C}]$ au point de fonctionnement nominal de la centrale. Cette température est limitée par des choix techniques délibérés liés au consommateur.

La deuxième idée de base (après celle de la méthode de Fresnel) a été de concevoir un capteur dont tous les modules seraient semblables afin de limiter les divergences dans les longueurs et les découpes de miroirs.

¹ Le taux de concentration tient compte de la surface effective de chaque lamelle

La surface du capteur (surface active de réflexion) est de $100 \text{ [m}^2\text{]}$, pour deux lignes de 21 [m] de long et $3,2 \text{ [m]}$ de large chacune (hors tout).

Il a été déterminé que l'orientation Nord-Sud aurait un meilleur rendement en regard de la position où nous nous situons, par rapport au déplacement du soleil en tenant compte des effets de bord. Nous avons préféré avoir une surface de réflexion réduite due à la déclinaison saisonnière du soleil, plutôt que d'avoir une exploitation réduite de la centrale au cours de la journée (perte due aux effets de bord au lever et au coucher du soleil).

Des explications plus précises du fonctionnement et de la conception du capteur CEP 3 sont énumérées dans le rapport final 1999 [1].

2 Modifications 1^{ère} ligne

Suite aux essais effectués sur la première ligne de capteur construite dans le courant de l'année 1999, certains points appelant des modifications ont été soulevés. Ces différents points étaient principalement:

- les supports de lamelles en EPDM (Caoutchouc éthylène-propylène)
Ces supports avaient un coefficient de dilatation linéique et volumique important, ce qui engendrait une perte de focale lors de leur dilatation due à la différence de température entre le matin et l'après-midi.
- les supports de collecteurs
Les supports de collecteurs, de part leur conception, engendraient sur le capteur une ombre projetée importante, de l'ordre de 2 à 3 % de la surface de réflexion.

Les modifications apportées ont pour but de diminuer ou d'éliminer les problèmes rencontrés afin d'augmenter le rendement de l'installation.

2.1 Fixation des lamelles

2.1.1 Choix initial de la première ligne

Dans la réalisation de la première ligne, les supports de lamelles étaient fabriqués à base d'EPDM. Ce matériau fait partie de la catégorie des caoutchouc éthylène-propylène. Il avait été choisi pour ses caractéristiques de résistance à la traction, à la flexion, sa dureté, sa rigidité, une constance des propriétés dans le temps correspondant aux conditions climatiques en Suisse ainsi que pour ses possibilités de mise en forme et d'usinage (extrusion dans la première phase, découpe au jet d'eau dans la deuxième).

A Avantages

Les supports de lamelles ont été extrudés afin de créer la forme de maintien sur les couteaux (profilés en L). Ces supports ont ensuite été découpés par jet d'eau afin de créer les formes de positionnement et d'inclinaison des lamelles. La découpe au jet d'eau permet une excellente précision au niveau de l'angle et du positionnement des lamelles. Il aurait été très difficile d'obtenir la précision de découpe voulue par d'autres méthodes.

Les supports de lamelles ont été découpés de telle sorte que les lamelles puissent être clipsées.

L'avantage de la méthode de clipsage des lamelles sur un gabarit souple était de faciliter le remplacement des lamelles en cas de bris ou de modifications. La matière choisie a été prévue pour 10 montages - démontages, mais l'expérience montre qu'elle résiste mieux et plus longtemps.

B *Inconvénients*

De gros problèmes de dilatation sont apparus lors des tests durant l'année 1999. Une très bonne concentration était obtenue le matin lorsque toute la structure et spécialement les gabarits étaient froids, c'est à dire proche de la température de leur découpe (10°C). Cette dilatation engendrait une perte de focale et ainsi une diminution du rendement du capteur. Nous avons constaté deux types de dilatation :

- la dilatation linéique due à l'élongation du gabarit lors de son échauffement durant la journée (élongation calculée de 4 [mm/m], ce qui engendrait un déplacement de passé 6 [mm] aux bords externes du plan miroir)
- la dilatation angulaire liée directement aux rayons du soleil. La pointe des clips (partie visible du gabarit) était directement touchée par les rayons, ce qui provoquait un échauffement. Par opposition, toute la partie inférieure protégée par les lamelles se situait constamment à l'ombre. Cette différence de température créait des déformations qui écartent les lamelles de leur face de référence.

Pour rappel, une variation d'angle de 1 [°] sur la dernière lamelle (position 32¹) conduit à un déplacement du point focal réfléchi de 100 [mm] par rapport au point focal théorique. A partir de là, il est facile de mesurer l'importance d'une grande précision du positionnement des lamelles.

A la mise en service de la première ligne, un défaut dans l'optique du capteur était visible. Ce défaut était apparent à partir de la lamelle No 20 où la vis de maintien du gabarit provoquait une déformation plastique de ce dernier et modifiait ainsi l'angle de réflexion des lamelles.

C *Synthèse des avantages et inconvénients***a *Avantages***

- manutention des lamelles aisée
- possibilité de remplacement des lamelles sans grands moyens techniques

b *Inconvénients*

- dilatation linéaire
- dilatation angulaire
- déformations plastiques

¹ Les lamelles sont numérotées de 1 à 32. La lamelle No 1 se trouvent à l'axe de rotation du capteur, la lamelle No 32 se trouve a l'extrémité du plan miroir.

2.1.2 Nouvelles solutions envisagées

Dans le but de pallier le problème de dilatation cité dans le paragraphe précédent, différentes solutions ont été proposées. Chaque solution se base sur l'élaboration d'un clip unique, quelle que soit sa position sur le plan miroir. L'idée est de désolidariser les clips.

Les contraintes mécaniques dans ce clip peuvent être importantes suivant sa position. En considérant une largeur de lamelle de 50 [mm], une longueur de lamelle de 2000 [mm] et un vent de face de l'ordre de 120 [km/h], nous obtenons une force d'environ 90 [N] par lamelle. Sachant que chaque lamelle est retenue par 6 clips, nous obtenons une force de 15 [N] par clip, ce qui nous donne un peu moins de 2 [kg] à retenir. Comme l'encombrement entre deux lamelles est relativement faible, il faut tenir compte de cet aspect dans la recherche d'une solution.

La première idée était d'utiliser les avantages de l'EPDM tout en éliminant son problème de dilatation, en fabricant des mini-clips à insérer dans le profilé en L (supports de gabarits) découpé à cet effet. Pour chaque position de lamelle, le clip aurait eu la même forme. Nous aurions pu ainsi diminuer les coûts de fabrication.

Compte tenu de sa petite taille, la dilatation joue un rôle très faible. Chaque clip a la possibilité de se dilater et dans la mesure où il ne touche pas son voisin, la dilatation ne sera pas répercutée en bout de support.

Le clip étant inséré dans le profilé en acier, il y avait possibilité d'obtenir un bon positionnement. Le montage et l'adaptation à la structure existante devaient être assez facile. Cette solution n'a pourtant pas été retenue en raison de la complexité de la forme à usiner ainsi que de la trop faible épaisseur du matériau à certains endroits.

Dans l'idée de garder une seule forme de clip, quelle que soit la position sur le plan miroir et compte tenu du peu de place relatif à l'encombrement des clips, nous avons songé à une solution de clips fabriqués à partir d'acier à ressort. L'avantage de l'acier à ressort est qu'il se déforme de manière élastique et qu'il est assez rigide pour retenir la lamelle. Le problème majeur dans cette solution est surtout le risque de bris de lamelles lors du contact entre le clip en acier et la lamelle en verre.

Plusieurs géométries différentes sont venues à notre esprit lors de l'élaboration de ce clip. L'idée première était d'utiliser le clip avec le même système qu'une pince à linge, en jouant sur la torsion du ressort. Après quelques demandes d'offres pour la fabrication de ce clip, nous avons abandonné cette solution qui était coûteuse et relativement difficile à mettre en œuvre.

2.1.3 Nouveau choix : Mini – clip en acier à ressort

A Conception du clip choisi

Se basant sur l'expérience des fabricants de ressorts et des personnes ayant déjà eu ce type de problème, nous sommes arrivés à la solution finale du clip. L'idée générale était d'utiliser la

souplesse du clip en flexion pour appuyer la lamelle sur le support. Il n'y a pas de revêtement prévu sur le clip pour éviter le contact verre acier car il a été constaté durant des essais effectués par le Laboratoire d'Energie Solaire (LESO) de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) que lorsque le clip était revêtu d'un matériau d'enrobage, il apparaissait des efforts supplémentaires sur la lamelle augmentant ainsi les risques de bris. Nous supposons que la force nécessaire pour la déformation de l'enrobage du clip est retransmise selon Newton (action = réaction) et s'additionne à la force exercée par le clip sur la lamelle, d'où l'apparition de ces efforts supplémentaires.

Nous avons estimé par calculs une géométrie idéale pour le clip. Des tests ont été effectués afin de définir la résistance à l'arrachement ainsi que l'élasticité du clip, et évaluer la difficulté de mise en place de ce dernier avec les lamelles de verre.

B *Essais de résistance*

a Nature des essais

Afin de confirmer nos calculs par des tests, nous avons fabriqué manuellement des clips à l'aide de fil à ressort de différents diamètres (0,8 et 0,9 [mm]). Nous avons préféré confectionner les clips nous-mêmes plutôt que de soumettre la fabrication du clip au manufacturier. Dans le cas où les tests n'auraient pas été concluants, la répercussion financière aurait été importante. Toutefois, la confection des clips pour la centrale par le manufacturier est beaucoup plus minutieuse et précise. Cette constatation a induit des erreurs de calcul de résistances lors de nos essais en laboratoire par rapport au clip manufacturé. Ces erreurs restent cependant favorables dans la mesure où nous supposons que les clips appuient sur les miroirs d'une manière parfaite et donc amoindrissent les risques de bris.



Figure 2-1 Système de mesure de la force de retenue des dips

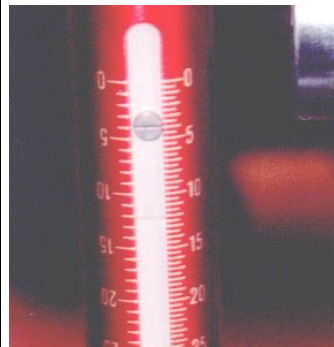


Figure 2-2 Essais de retenue des clips avec la force calculée

b *Résultat des essais*

Avec ces dips, nous avons obtenus de bons résultats quant à la résistance à l'arrachement et à l'élasticité. Nous avons constaté que les clips supportaient les efforts demandés mais que la mise en place avec les lamelles était plus astreignante que dans la configuration des gabarits en EPDM, du fait de la forme du clip et de la fragilité du verre.

Les résultats en fonction du diamètre du fil et de la force appliquée se trouvent dans le tableau suivant (seuls les points essentiels de l'essai sont marqués):

Test d'arrachement de la lamelle

Test effectué avec deux clips de 0,8 [mm] de diamètre selon figure (Figure 2-1)	
Charge [kg]	Description
2	Aucune constatation particulière
3	Un dip commence à glisser
4	Le dip glisse toujours mais résiste encore
5	La lamelle s'écarte de son support
0	Si on décharge le tout, la lamelle reprend sa position initiale et les clips leur forme initiale.
7	Les clips glissent, ils ont tendance à vouloir sortir de leur emplacement. Ils résistent toujours
10	Tout a lâché. Au moment de l'arrachement, la lamelle s'est fissurée au niveau des clips

Remarque: du fait du manque de précision de la géométrie du clip, il s'est avéré qu'il n'appuyait pas sur la lamelle de manière symétrique. Pour cette raison, un côté du clip était plus sollicité que l'autre, ce qui peut expliquer le fait qu'il ait tendance à glisser.

Test effectué avec deux clips de 0,9 [mm] de diamètre selon figure (Figure 2-1)	
Charge [kg]	Description
5	Le clip qui a été forcé pour rentrer a tendance à lâcher
6	Le clip a glissé, la charge résiduelle est de 5 [kg]
9	Le clip n'a pas tenu ; par contre, celui qui a été mis "en douceur" a résisté et est revenu à sa position initiale. Il est déformé et ne retient plus la lamelle. La lamelle s'est brisée à l'accroche avec le clip

Remarque: un des deux clips a dû être forcé afin de pouvoir enfiler la lamelle dessous. Nous pensons que le fait de devoir forcer le clip pour insérer la lamelle a engendré une contrainte supplémentaire sur le clip, ce qui a fait diminué sa marge de fonctionnement.

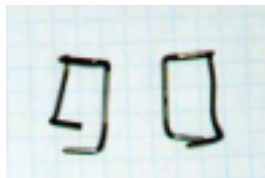


Figure 2-3 Clips fabriqués pour les tests, après les tests



Figure 2-4 La lamelle de verre s'est fissurée au niveau de l'attache avec les clips

C *Mise en place des clips*

Pour faciliter la mise en place des clips sur les supports de lamelles, il a fallu trouver un outil évitant le plus possible le contact ainsi que le frottement sur le verre. Une fois mis en place, le verre ne risque presque plus rien, s'il n'y a pas de vibrations due au vent. Il faut donc aussi tenir compte du fait que la lamelle doit plaquer correctement contre le support afin d'éviter qu'elle ne commence à vibrer et qu'elle se fendille.

L'outil que nous avons utilisé est une pince à ardiips pour arbres. Nous avons limé deux encoches sur le bec de la pince afin d'avoir un meilleur soutien des pattes du clip et éviter que ce dernier ne glisse trop facilement.

2.2 Les supports de lamelles

Les modifications sur le support des lamelles sont dues au choix du nouveau système de fixation des lamelles présenté au paragraphe 2.1

2.2.1 Adaptation des supports de lamelles au système de fixation

Dans l'idée de garantir la position de chaque lamelle ainsi que son inclinaison par rapport au plan miroir et au collecteur, nous avons décidé d'effectuer la découpe du profil du plan miroir directement dans les supports en L en acier inoxydable (précédemment le support de gabarit). Le but premier de cette solution était d'éviter la dilatation linéaire du support des lamelles, l'acier inoxydable ayant un coefficient de dilatation linéique inférieur à celui de l'EPDM. Cette solution impose de découper le profil dans les supports en L. Il a donc fallu démonter les supports de la première ligne de capteurs et les faire découper. De plus, il a été nécessaire de redresser ces supports car ils avaient subi des déformations dues aux contraintes thermiques entre la partie visible au rayonnement solaire et la partie cachée.

L'acier inoxydable étant légèrement plus rigide que l'EPDM, la découpe a mis plus de temps que prévu ce qui a engendré des répercussions négatives sur les délais et également sur les coûts d'usinage.

La nouvelle conception des clips implique un perçage des supports de lamelles. Cette opération a été effectuée en même temps que la découpe des profils, la moitié du temps d'usinage étant utilisé pour le perçage des trous de maintien des clips.

Les avantages de la découpe dans le profilé en L sont les suivants :

- bon positionnement linéaire et angulaire de la lamelle
- peu ou pas de dilatation

Les inconvénients sont les suivants :

- coût de fabrication élevé
- alignement demande beaucoup de précision



Figure 2-5 Découpe des supports de lamelles et maintien des clips



Figure 2-6 Agrandissement du maintien des clips

2.2.2 Protection des lamelles au contact du support

A Solutions étudiées

Un autre problème à résoudre est le contact entre la lamelle de verre et le support en acier. L'idée première était de trouver un spray du genre vernis transparent, ayant des caractéristiques absorbantes de vibrations. Une autre solution envisagée était d'appliquer sur les supports un revêtement de surface à base de polyuréthane. Ces méthodes ont été abandonnées soit en raison d'indisponibilité du produit ou du coût excessif. De plus, la solution du polyuréthane implique de la manutentions supplémentaire car tous les trous auraient été à refaire. Elle aurait eu par contre, de bonnes propriétés absorbantes des vibrations ainsi qu'antidérapantes.

B Solution retenue

La solution retenue a été de placer sous la lamelle, au niveau de son appui avec le support, une bande adhésive transparente de 200 [µm]. Pour des raisons de délais de livraison, l'adhésif employé sur le prototype de la centrale est un adhésif utilisé en hockey sur glace pour amortir les chocs du puck sur la cross. Ses propriétés de protection contre les vibrations semblent satisfaisantes. Sa résistance aux conditions atmosphérique suisses sera révélée pendant la durée des essais de la centrale. Toutefois, la société 3M pourrait, le cas échéant, nous proposer un adhésif aux propriétés absorbantes de chocs équivalentes et mieux adaptées à notre besoin.

2.3 Modification de supports de collecteur

Durant les essais sur la première ligne du capteur, il a été constaté que le supports de collecteurs, en soutenant ce dernier par le dessous, engendrait une ombre portée sur le collecteur à l'endroit où la concentration était la plus importante, diminuant ainsi la taille de la tache focale.

Dans le but de pallier ce problème, nous avons décidé de supporter les collecteurs par le dessus. Il subsiste toujours une ombre portée sur le collecteur mais pas à l'endroit où les rayons du soleil concentrent. L'idéal serait de pouvoir espacer les support afin de prendre appui le plus à l'extérieur possible sur la structure. Cette solution ne diminuerait pas l'ombre portée sur le plan miroir mais en tout cas celle portée sur le collecteur. De plus, il faudrait rigidifier les supports et donc prendre des profilés plus gros. La solution que nous avons actuellement semble un bon compromis entre les problèmes d'ombre et de rigidité.

Pour pouvoir démonter facilement le collecteur si besoin était, les supports ont été fabriqués démontables (Plan SPS-JST-SC102).



Figure 2-7 Support de collecteur par dessous



Figure 2-8 Support de collecteur par dessus

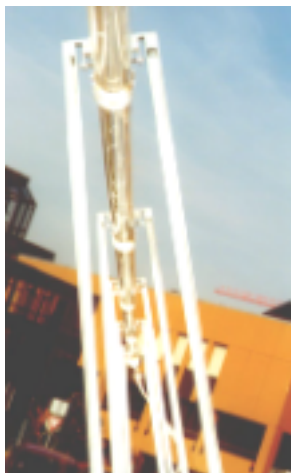


Figure 2-9 Réflexion des rayons du soleil sur les supports de collecteur

2.4 Contrôle de la géométrie par faisceau laser

Pour vérifier lamelle par lamelle sa position ainsi que son inclinaison, l'idée de contrôler la géométrie à l'aide d'un faisceau laser a été proposée.

La solution choisie est de fabriquer un chariot sur lequel on placerait le faisceau laser (stylo laser de conférence) perpendiculairement au plan miroir. Le faisceau laser jouerait le rôle des rayons du soleil. Ce chariot serait guidé par des rails dont le cadre prendrait appui sur les supports de lamelles autant au centre qu'aux extrémités. Nous pourrions ainsi balader le chariot sur le plan miroir et regarder la tache correspondant à la réflexion du faisceau laser sur le collecteur. En fonction de la position de la tache, nous serions en mesure de définir si la lamelle réfléchit correctement les rayons du soleil et, par conséquent, si son positionnement est correct.

3 Construction 2^e ligne

La deuxième ligne a été construite sur la base du mode de fabrication de la première ainsi que sur les modifications apportées à celle-ci.

Ce chapitre rend compte de la construction de la 2^e ligne, c'est à dire l'explication du montage ainsi que les problèmes rencontrés tant du point de vue technique que du point de vue délai.

3.1 Mise en place de la 2^eme ligne

3.1.1 Pieds

Nous avons deux types de pieds distincts :

- le pied central qui correspond au bloc composé de deux montants solidaires l'un et l'autre par une traverse ainsi que par le cadre supportant le réducteur. Ce pied supporte toute la partie d'entraînement du capteur et, de par sa forme, assure la stabilité du capteur dans la direction Nord-Sud (Plan SPS-JST-P003)
- les pieds extérieurs qui supportent le reste de la structure (Plan SPS-JST-P004)

Chaque pied est composé d'une plaque de base sur laquelle vient soudé un montant surélevé d'une plaque d'assise pour un palier. Des renforts latéraux soudés entre le pied et la plaque de base rigidifient le pied en flexion.

Les pieds ont été fixés au béton à l'aide de chevilles chimiques à deux composants qui se durcissent lorsqu'ils sont mélangés. Le marquage ainsi que le perçage des trous de positionnement ont été mesurés à partir d'une référence sur le béton. Il n'y a pas eu de gabarit de perçage.

L'alignement des pieds en hauteur ainsi que latéralement a été effectué dans un premier temps à l'aide d'un cordeau.

3.1.2 Paliers

Les paliers ont été montés sur les pieds et alignés longitudinalement au fil. L'alignement en hauteur s'est fait à l'aide d'un niveau de géomètre prêté par le département de génie rural. Les paliers sont fabriqués en deux coques. Afin que le montage d'une coque sur l'autre soit correct, les surfaces de contact sont rectifiées. Pour avoir un alignement en hauteur correct, nous avons solidarisé les pieds avec l'embase inférieure du palier et avons utilisé la surface rectifiée comme repère. Le pied central a servi de référence et la hauteur des autres pieds a été mesurée relativement à cette référence. Les pieds extérieurs ont été réglés en fonction de la première mesure de différence de hauteur avec le pied central. Le réglage une fois effectué, une deuxième mesure a été faite de manière à vérifier l'alignement horizontal de la structure portante.

3.1.3 Réducteur

Le réducteur a été monté avec l'aide du personnel du service d'exploitation de l'école qui a mis a disposition et manœuvré le chariot élévateur. Nous avons inséré les axes ainsi que les roulements. Nous avons ensuite monté le réducteur sur son cadre.

Le poids du réducteur est réparti sur plusieurs points :

- sur les paliers (charge retransmise par les axes et les roulements)
- sur le cadre fixé sur le pied central (charge retransmise par des rondelles à plateau)

Le fait de répartir le poids du réducteur sur plusieurs points évite une cassure due à une éventuelle faiblesse d'un des éléments.

3.1.4 Roulements

Les roulements utilisés sont de type CARB, ce sont des roulements à rouleaux conçus de telle sorte qu'ils supportent une légère erreur d'alignement de l'axe de rotation.

Ces roulements sont munis de joints à lèvres mais, lors du montage, il est nécessaire de bien les nettoyer, les essuyer et les graisser afin d'éviter le plus possible qu'une poussière puisse les faire gripper.

3.1.5 Axes et flasques

Les axes et les flasques sont montés de manière solidaire. Les flasques ont pour but de transmettre le mouvement de rotation des axes aux tubes DN225 sur lesquels repose le plan miroir et au collecteur. Ils sont liés entre eux à l'aide de 3 vis, 3 goupilles et une rondelle. Les goupilles servent autant au positionnement qu'à la reprise du couple de rotation. Les flasques viennent s'insérer en sandwich entre une rondelle et l'axe de rotation, cette rondelle est fixée à l'axe par les 3 vis ainsi que par les goupilles. Le fait que le flasque soit en sandwich entre la rondelle et l'axe permet d'augmenter la surface de frottement dans le but de transmettre le couple de rotation. Il y a trois types d'axes de rotation :

- les axes centraux sont enchâssés dans le réducteur et entraînés en partie par frottement et en partie à l'aide d'une clavette.
- les axes extérieurs ont comme but d'appuyer la structure mobile sur la structure fixe à l'aide des roulements. Ils ne transmettent pas de couple, ils ont juste un rôle de soutien
- les axes intermédiaires ont pour but de transmettre la rotation d'une partie à l'autre de la structure

3.1.6 Tubes DN 225

Les tubes DN225 ont pour but de soutenir les supports de lamelles et par conséquent, de transmettre la rotation au plan miroir.

Les tubes sont reliés aux flasques par des vis. Afin d'éviter une trop grande rigidité de la structure, des joints en caoutchouc ont été placés entre les tubes et les flasques.. Les joints peuvent compenser les défauts d'alignement, de planéité de la surface du tube en contact avec le flasque et surtout compenser la dilatation des tubes et éviter un effort trop important sur les pieds.

Des couronnes sont soudées sur ces tubes afin de pouvoir accrocher les supports de lamelles.

3.1.7 Supports de lamelles

Les supports de lamelles sont des profilés en L. Les modifications essentielles effectuées par rapport à la 1^{ère} ligne sont rapportées dans le paragraphe « 2.2 ».

Chaque lamelle repose sur au moins 3 supports. La découpe ayant une marge d'un demi millimètre, il faut une grande précision lors de la pose des supports. Il est nécessaire de pouvoir garantir l'alignement des supports dans le sens axial du capteur, ainsi que l'horizontalité et la planéité de la surface de miroir.

La solution choisie pour l'alignement des supports a été de prendre comme référence les découpes usinées dans les supports de lamelles et de placer sur chaque support une règle de géomètre. Cette règle prenait appui sur 4 découpes à l'aide de goupilles de positionnement. Afin de régler l'horizontalité du système, nous avons pris la mesure sur la règle de géomètre à l'aide d'une nivelle électronique. Pour régler l'alignement, nous avons tracé une encoche au centre de chaque support que nous avons aligné le long de l'axe du capteur à l'aide d'une deuxième règle de géomètre (l'avantage de la règle par rapport au fil réside dans la possibilité d'utilisation lors de vent). Pour aligner le tout, nous avons placé sur les flasques des équerres sur lesquelles étaient tracées des marques correspondant au centre du capteur ainsi que d'autres correspondant à la distance à laquelle devait se trouver le collecteur par rapport à l'axe du capteur. Il nous a dès lors été possible d'aligner en même temps les supports de lamelles et le collecteur.

3.1.8 Clipset lamelles

A Clips

Du fait de l'expérience acquise lors des modifications de la 1^{ère} ligne, il ne nous semblait pas nécessaire d'effectuer des modifications supplémentaires sur la forme des clips lors de la construction de la 2^e ligne.

Il a été constaté que le montage des clips individuels ainsi que des lamelles à l'aide de ces clips prenait plus de temps qu'avec les gabarits en EPDM.

B *Lamelles*

Les lamelles manquantes dans le stock dû à des bris lors du montage de la première ligne ont été commandées le plus tôt possible car le délai de fabrication est relativement long. Il faut compter au moins une douzaine de semaines à partir de la commande pour obtenir les lamelles coupées à la bonne longueur. De plus amples détails sont expliqués dans le chapitre « 3.3 », au paragraphe « 3.3.9 ».

Lors du montage, d'autres problèmes sont venus se greffer à ceux cités précédemment. Le plus important consistait en la différence de tolérance entre un vitrier et un mécanicien. Ce point n'ayant pas été soulevé durant le montage de la première ligne, il ne nous a sauté aux yeux que lorsqu'il a fallu insérer les lamelles. La découpe sur le profilé avait été prévue avec une marge de 0.5 [mm] par rapport à la largeur théorique de la lamelle. Le problème est que le vitrier a une tolérance au plus fin, de 1 [mm] environ. Nous nous sommes donc retrouvés avec des lamelles qui ne rentraient pas dans la découpe prévue.

Il nous a dès lors fallu essayer toutes les lamelles sur les supports déjà coupés afin de définir leur position sur le plan miroir en fonction de leur largeur effective. Toutefois, dans de nombreux cas, il a fallu limer les découpes afin de pouvoir insérer correctement les lamelles. Ce problème de limage lors du montage des lamelles a été un des principaux facteurs de retard dans la construction de la centrale.

3.1.9 Cellule photoélectrique et capteur de fin de course

La cellule photoélectrique est utilisée pour la mise à plat du capteur. La mise à plat du capteur sert de référence pour le suivi du soleil. En fonction de cette position, on définit l'angle du capteur par rapport au soleil avec un angle maximum de ± 80 [°]. Passé cette limite, le capteur risque des détériorations de lamelles.

Afin de garantir une précision suffisante de positionnement, il faut que la distance entre l'axe du capteur et la cellule soit d'au moins 60 [cm]. L'angle du capteur doit être précis à 0,1 [°] près. En dehors de cette précision, la tache focale sur le collecteur n'est plus nette et les rendements diminuent car la concentration n'est plus idéale.

Le fin de course a été branché sur l'ampli du servo variateur. Lorsqu'il est enclenché, il coupe l'alimentation du moteur.

3.1.10 Armoire de commande et moteur

Une réquisition a été ouverte par le LENI vers le service électrique de l'EPFL dans le but de modifier l'armoire de commande du capteur. Les modifications mécaniques (ouvertures dans la porte de l'armoire) ont été effectuées par l'atelier mécanique du LENI tandis que les modifications électriques ont été effectuées par le service électrique.

Un ampli pour le deuxième servo variateur a été rajouté dans l'armoire de commande, ainsi qu'une deuxième série de commandes (sens de rotation du capteur, mode automatique ou manuel, vitesse de rotation). Il est possible de commander chaque ligne indépendamment l'une de l'autre.

Durant la période de modification de l'armoire, comme il nous était impossible de commander les moteurs pour faire tourner le capteur, nous avons eu en prêt un moteur 220 [v] avec un variateur de fréquence. Un interrupteur permettait l'inversion du sens de rotation. Compte tenu du taux de réduction, le couple nécessaire pour faire tourner le capteur est faible. C'est pour cette raison qu'un simple moteur 220 [v] suffisait pour cette application. L'utilisation d'un moteur plus puissant pour le fonctionnement de la centrale en mode « normal » est judicieux à partir du moment où nous avons besoin d'une plus grande plage de travail.

3.1.11 Tracking

Une nouvelle version du tracking a été développée pour une application plus industrielle que la précédente. Nous avons la possibilité d'étendre la centrale à 32 capteurs. Chaque capteur peut-être géré indépendamment l'un de l'autre.

Les réglages individuels pour chaque capteur sont les suivants :

- réglage de l'offset entre la position calculée et la position réelle du soleil
- réglage des limites inférieures et supérieures de rotation du capteur

Des réglages sont communs pour tous les capteurs:

- la période de calcul dans la journée
- les jours de changement d'heure été-hiver

3.1.12 Support de collecteur

Comme vu dans le rapport final 1999, le support de collecteur situé au niveau du réducteur est considéré comme point fixe tandis que les autres sont montés sur des douilles en bronze ayant pour but de compenser les dilatations du collecteur. Une grande précision est exigée lors du montage de ces supports afin d'obtenir le meilleur compromis entre le jeu nécessaire pour la mobilité du support et sa rigidité. La rigidité du support de collecteur est importante lorsque le capteur se trouve dans une position extrême. Le déplacement du collecteur par rapport à l'axe du capteur dépend du jeu que le support a au niveau de l'attache avec les flasques.

A Assemblage du collecteur

La mise en place du collecteur s'est faite quasiment en même temps que la construction du circuit hydraulique.

Les inserts pour le collecteur ont été soudés bout à bout puis chaque élément du collecteur a été glissé le long de l'insert pour ensuite être soudé avec les autres. Cette manœuvre a été effectuée

rapidement de manière à pouvoir assembler le collecteur avec les supports de collecteur et monter le tout sur la structure afin d'éviter des risques de casse due à une mauvaise manipulation ou un problème de vent. Les liaisons entre le collecteur et les supports de collecteur séparent ces deux éléments à l'aide de laine de verre tressée, utilisée comme isolant thermique.

B Pose et alignement

Nous avons posé les collecteurs sur des chevalets pour les souder. Ensuite, nous avons fait tourner le capteur de manière à ce que les supports de collecteurs viennent le plus proche possible des chevalets. Nous avons ensuite accroché la liaison avec les collecteurs et en dernier lieu avec les supports de collecteurs. Une fois le tout correctement assemblé, nous avons redressé le capteur afin de pouvoir le mettre à plat.

Pour l'alignement, nous avons utilisé la méthode expliquée au paragraphe « 3.1.7 ».

3.1.13 Circuit hydraulique

A Configuration du circuit hydraulique et pose

Le montage du circuit hydraulique s'est fait en série avec celui de la première ligne. L'avantage majeur de ce type de montage consiste en la simplicité de régulation par opposition à une régulation sur un circuit avec les deux lignes en parallèle.

Les éléments utilisés (tuyauterie, flexibles, etc.) sont identiques à ceux employés dans la réalisation de la première ligne.

B Pompe de circulation

Nous avons estimé les pertes de charge pour la 2^e ligne identiques à celles mesurées pour la 1^{ère} ligne lors des essais effectués dans le courant de l'année 1999. En fonction de cette hypothèse, nous avons pu définir quel pouvait être la taille de la pompe nécessaire pour faire circuler l'eau avec un débit nominal de 1,1 [l/s]. En fait, nous avons légèrement surdimensionné la pompe dans le but d'avoir une marge de manœuvre. Afin de régler le débit, nous avons utilisé la vanne de réglage située à l'extérieur de la cabane. Cette vanne sert à réguler le taux d'énergie fournie par l'échangeur sur le moteur TOTEM. Le moteur n'étant pas en fonctionnement lors des premiers essais, nous nous sommes permis de l'utiliser. En fait, nous avons agi sur les pertes de charge à l'intérieur du circuit pour diminuer le débit. La caractéristique de la pompe n'est pas linéaire, ni constante et nous jouons sur ces points. Une deuxième méthode pour régler le débit consisterait à faire varier la fréquence du moteur de la pompe mais cette solution est relativement plus coûteuse que la précédente car il faut acquérir un variateur de fréquence adapté à la pompe.

C *Isolation*

Dans le but d'éviter le plus possible les pertes thermiques le long des conduites, l'isolation complète du circuit va être effectuée. Il ne restera en contact avec l'air extérieur qu'une faible surface du circuit hydraulique correspondant aux brides, aux vannes, etc.

3.2 Modifications supplémentaires apportées au pied central par rapport à la 1^{re} ligne

La première ligne étant déjà construite, le pied central n'a été modifié que sur la 2^e ligne.

Les contreventements sur les côtés ont été supprimés et une liaison rigide a été soudée entre les deux parties du pied pour les remplacer. Cette liaison permet de simplifier l'alignement et le montage du fait de la solidarité du pied. Nous avons aussi consolidé le cadre de support du réducteur afin d'assurer la stabilité de ce dernier.

Nous avons aussi remarqué la possibilité de remplacer la plaque de base des pieds par des profilés tubulaires qui auraient eu la même résistance mais un coût peut-être légèrement plus faible du fait d'une manutention moins importante. Ce point n'a malheureusement pas pu être vérifié par manque de temps, l'appel d'offre concernant les modifications n'a pas été pris en compte par le fournisseur. De plus, nous ne voulions pas changer l'aspect esthétique des deux lignes.

3.3 Problèmes rencontrés durant le montage

Les problèmes rencontrés durant le montage furent nombreux, voici une liste non exhaustive des différents soucis pouvant nuire au bon déroulement d'une construction

3.3.1 Pieds

Les problèmes rencontrés furent:

- La surcharge de travail chez les fournisseurs est telle qu'il s'ensuit de légers retards dans la livraison. De plus, certains éléments sont fabriqués à la va-vite.
 - Le pied central a eu une erreur de mise en œuvre, l'alignement des trous n'était pas celui escompté. Il a donc fallu faire venir un ouvrier pour modifier les trous déformés.
 - Le diamètre des trous de perçage était un peu faible. Sur la première ligne, des trous oblongs servaient au positionnement des pieds. Le montage ayant été effectué sans problème, nous avons éliminé les trous oblongs pensant que des trous ronds de diamètre plus important feraient tout aussi bien l'affaire. C'était sans compter sur le fait que le montage de la deuxième ligne allait être plus pénible que celui de la première. Par conséquent, le diamètre des trous avait été sous-estimé. Les trous sur les pieds extérieurs ont pu être modifiés en usine mais avec un délai de livraison plus important d'environ deux semaines tandis que les trous sur le pied central ont été modifiés sur place.
-

3.3.2 Paliers

Le mois de juillet ayant été un mois pluvieux, le montage des paliers a pris quelques jours de plus que prévu. Les paliers demandent à être secs et propre avant d'être graissés et montés, ceci afin d'éviter une oxydation rapide et un grippage des roulements. L'alignement devant être fait sur des surfaces de références usinées, nous avons profité du fait que les paliers soient fabriqués en deux coques distinctes pour utiliser la partie inférieure rectifiée comme référence. Il a fallu faire attention à ce qu'il ne pleuve pas sur le palier à cause du risque d'oxydation. De ce fait à chaque pluie, il fallait les couvrir et les protéger, ce qui nous a fait perdre du temps.

3.3.3 Flasques

- Lors du montage, deux flasques ont été inversées, il a fallu les démonter pour les changer de place. Cela nous a fait perdre une journée de montage.
- Les tolérances des flasques centrales venant sur le méplat des axes de rotations centraux étant trop serrées, les axes ne voulaient pas rentrer dans les encoches prévues à cet effet. Les encoches ont été limées et nous ont fait perdre une demi-journée. Ayant déjà eu ce problème lors du montage précédent, nous avons averti le fournisseur dans le but qu'il teste le montage avant d'amener les pièces sur le chantier. Lors du test en atelier, il n'y a pas eu de problème à les assembler. C'était sans compter sur la dilatation due à la différence de température entre l'atelier et le chantier en plein soleil.

3.3.4 Armoire de commande et moteur

- La personne s'étant occupée de la fabrication de l'armoire de commande pour la première ligne étant malheureusement dans l'incapacité de poursuivre son travail, tout a été repris par une autre personne qui ne connaissait pas le schéma électrique.
- Après quelques jours de modifications, le 2^e ampli ainsi que le deuxième servo variateur ont finalement été montés. Mais des problèmes de configurations ainsi que des problèmes de câblage empêchaient le 2^e moteur de tourner. Après 3 jours de recherches, nous avons trouvé la solution ; pour l'ampli, il a fallu reprendre les caractéristiques du 1^{er} ampli, les copier et les inscrire dans le 2^e ampli ; pour le moteur, c'était un problème de phases, deux phases d'alimentation du moteur avaient été inversées et bloquaient alors la rotation.

3.3.5 Support de collecteur

Le dossier concernant la fabrication des supports de collecteur a été repris par un fournisseur n'ayant pas eu de contact avec les responsables lors de la fabrication de la 1^{ère} ligne. Pour cette raison, il n'a pas été en mesure de nous indiquer, lors de la commande, le fait que les matériaux que nous avons choisis n'étaient pas livrable du stock. Il a donc fallu attendre un feed-back de leur

fournisseur de matériaux pour revoir nos choix de matériaux. Ce point nous a fait perdre deux semaines de montage durant lesquelles nous nous sommes penchés sur les différentes solutions d'alignement des supports de lamelles.

3.3.6 Collecteurs

- L'idée première pour aligner les collecteurs consistait à faire passer un fil à plomb de chaque côté du collecteur et mesurer la distance entre le centre du support de lamelles et le milieu de la distance entre les deux fils à plomb. Cette solution qui fut celle utilisée pour l'alignement de la première ligne n'a pas été retenue à cause du vent. C'est pour cette raison que nous avons envisagé une solution de réglage à l'aide d'une règle et d'une nivelle.
- Un point qui nous a fait perdre une demi-journée fut la cassure d'une bride de fixation de la liaison entre le collecteur et les supports de collecteur. Nous avons dû aller la faire fabriquer et la chercher dans la journée.

3.3.7 Circuit hydraulique

Lorsque nous avons passé commande, nous espérions avoir le circuit hydraulique clé en main. Ce ne fut pas le cas, il manquait une partie essentielle pour son bon fonctionnement : les tubes flexibles entre la partie fixe et la partie mobile du capteur. Nous avons commandé les tubes aussi rapidement que possible mais les délais de livraisons étant de 3 semaines, nous avons dû patienter un peu avant de pouvoir mettre de l'eau dans le circuit.

3.3.8 Supports de lamelles

- Le problème pour les supports de lamelles fut pour la 2^e ligne presque identique à celui rencontré lors du montage de la première. Les supports de lamelles sont reliés aux tubes DN 225 par des couronnes et retenus par pincement. La tolérance entre les deux couronnes est telle qu'il nous était impossible d'enfiler les supports de lamelles. Nous avons donc dû les écarter à l'aide de ciseaux et pour certaines position, éliminer les bavures dues au zinguage.
- De plus, il semblerait que la découpe du profilé pour les lamelles n'ait pas été effectuée avec autant de précision que la découpe pour la 1^{ère} ligne : elle était moins nette et il manquait le décrochement utile pour plaquer correctement la lamelle au fond de l'encoche. Il a donc à nouveau fallu limer pour que les lamelles rentrent correctement, bien que nous les ayons préalablement triées.

3.3.9 Lamelles

Le plan miroir a été tellement bien optimisé dans la première partie de fabrication de la centrale que la moindre petite différence entraîne des modifications à effectuer. Comme nous avons

découpé le profil de positionnement des lamelles directement dans les supports, nous avons abaissé le plan miroir de 35 [mm] environ. Il a fallu tenir compte de ces 35 [mm] lors de la mise sur pied de la commande des découpes pour les miroirs, 1^{ère} et 2^e ligne comprises. Les lamelles 20 à 23 ont dû être recoupées car elles ne passaient plus au niveau des pieds de la structure fixe. Les lamelles 1 à 3 ont subi de temps à autres des petites modification de longueur dues au passage de la lamelle vers un flasque ou vers un pied.

3.3.10 Tracking

Après quelques recherches, nous avons été en mesure de définir pourquoi nous n'arrivions pas à transmettre des données de l'ordinateur à l'ampli du moteur. Il s'agissait de l'adressage au niveau du port série dans la configuration du programme. Une fois ce point résolu, nous avons pu constater les différents problèmes dans le programme. Ce furent des problèmes sans conséquence (calcul du n° du jour, limite de fonctionnement du capteur, etc.). Le programme tourne correctement, nous avons juste fait faire quelques modifications pour rendre le programme plus convivial et plus intuitif.

Un point nous a fait perdre quelques heures. Le réglage de l'offset du capteur ; la 2^e ligne prenait comme référence la 1^{ère}, ce qui fait que lorsqu'on réglait l'offset sur la 1^{ère} ligne, il fallait définir l'offset inverse sur la 2^e ligne. Ce problème a été résolu de manière à ce que chaque ligne soit totalement indépendante.

3.3.11 Disponibilité des fournisseurs

En raison de la période de chantier (été), la plupart des fournisseurs étaient en vacances, ce qui a induit les problèmes suivants :

- Bien que nous ayons fait en sorte de prévoir nos commandes assez tôt, la fabrication de certains éléments prirent plus de temps que prévu pour des raisons de vacances.
- Le responsable du soudage des collecteurs sur la 1^{ère} ligne est parti en vacances au moment où nous avions planifié le montage des collecteurs sur la 2^e. Il a donc fallu prendre du temps pour trouver une entreprise ayant un soudeur qualifié pour ce travail car il faut être minutieux.
- La société qui s'était occupée du collage des lamelles miroirs pour la 1^{ère} ligne n'a pas été d'accord de s'occuper du collage pour la 2^e. Ils avaient loués une machine spéciale pour coller les lamelles et avaient pris trop de temps. Ils ont quand même trouvé un remplaçant pour le collage qui a malheureusement planifié ses vacances au moment où nous avions besoin de lui. Il a donc fallu à nouveau prendre du temps pour trouver une entreprise ouverte durant la période de vacances.

- L'électricien ayant fabriqué l'armoire de commande a malheureusement eu un accident de sport, ce qui l'a empêché de pouvoir effectuer les modifications sur l'armoire de commande. Le service électrique étant à cours de personnel à cause des vacances, la modification de l'armoire de commande a pris plus de temps que prévu.

3.3.12 Maintenance de la centrale

Afin d'obtenir les meilleures caractéristiques possibles pour le capteur, certains points sont à prendre en considération :

- Lors du nettoyage des lamelles, il ne faut pas oublier de les rincer abondamment à l'eau claire et de les sécher ensuite. Cela évite un dépôt de poussière rendant les lamelles mates si l'on ne les essuie pas correctement
- Chaque journée d'essai, il faut essuyer les collecteurs à l'aide d'un chiffon sec car la rosée diffuse la concentration des rayons.

3.4 Idées non retenues

Durant le montage, afin de simplifier le travail quelques idées sont apparues, toutes n'ont pas été retenues du fait d'un manque de temps ou d'une réalisation trop onéreuse.

3.4.1 Alignement des supports de lamelles par laser

Dans le but d'aligner les supports de lamelles horizontalement, nous avons comme idée un système de laser.

L'idée consistait à utiliser un faisceau laser réfléchi à l'aide de miroirs aux extrémités du capteur afin d'obtenir un cadre horizontal le long duquel nous aurions fait glisser une cible. La cible ayant eu comme référence la découpe du profilé, nous aurions ainsi pu assurer l'alignement des supports.

Une forme mâle découpée selon une forme femelle correspondant à la découpe sur trois encoches devait venir s'emboîter dans la découpe femelle au niveau du support de lamelle le plus au nord dans les positions 30 à 32 des lamelles. On utilisait ainsi l'usinage effectué au jet d'eau comme référence. Sur cette pièce venait prendre appui un stylo laser inclinable selon un axe vertical et un axe horizontal. Une fois l'horizontalité du faisceau définie, nous apposions sur le support tout au Sud de la ligne une pièce de même forme avec un miroir ayant pour but de réfléchir le faisceau laser longitudinalement par rapport à l'axe du profilé du support. A l'autre bout de ce support venait la même pièce avec un miroir renvoyant le faisceau parallèlement au premier dans la direction Sud-Nord. Au bout de la ligne, sur le support le plus au Nord, sur les positions 30 à 32 venait imbriqué une autre pièce mâle avec une cible sur la pièce. Le centre de cette cible étant à la même distance avec la découpe que le faisceau laser avec la découpe, nous aurions eu un cadre virtuel fabriqué à l'aide d'un faisceau laser. Ensuite, nous aurions placé sur chaque support de

lamelle une même pièce mâle sur laquelle venait fixé un support avec un trou. Lorsque le faisceau passait à travers le trou et repartait frapper la cible, nous étions assuré de l'alignement des supports les uns par rapport aux autres.

Cette méthode demandait un développement trop important pour la fabrication des pièces mâles et pour l'alignement du faisceau, elle n'a pas été retenue.

3.4.2 Fixation des supports de lamelles sur les tubes DN225

Une idée pour faciliter le montage des supports de lamelles a été de fabriquer des pieds qui avaient pour but de tenir le support et éviter son glissement lors du serrage des vis et donc, lors du pincement des couronnes. Après le montage de deux ou trois supports, nous avons constaté que ces pieds n'étaient pas essentiels, le support ne glissant pas de trop, il pouvait facilement être retenu manuellement.

3.5 Améliorations possibles

Plusieurs modifications sont encore possibles pour diminuer le temps de montage, faciliter ce dernier ou diminuer les coûts de fabrication.

3.5.1 Tubes DN 225

Les tubes nous semblent surdimensionnés. Un dimensionnement plus précis doit permettre un allègement de la structure. Des mesures de couple dû à la force du vent et de contraintes sur les pieds pourraient nous aider à évaluer les efforts à transmettre à la partie mobile pour la faire tourner et à la partie fixe pour la faire tenir sur place. Une fois ces efforts évalués, nous serions en mesure d'optimiser la taille de chaque élément afin de diminuer le poids, l'encombrement et le coût de chaque élément.

De plus, il faudrait pouvoir étudier la possibilité de monter des tubes standards à profil rectangulaire ou carré. L'utilisation d'éléments rectangulaires (usinage plus simple) simplifierait nettement le montage des supports de lamelles et diminuerait sûrement les coûts de fabrication.

3.5.2 Réducteur

Le réducteur est imposant du fait de son taux de réduction et du couple maximum à transmettre calculé lors du développement de la centrale. Les calculs se basaient sur une surface miroir plane. Le fait que nous ayons des lamelles en lieu et place de grandes plaques diminue la prise au vent car l'air peut circuler entre les lamelles. Il faudrait étudier lors de fort vent quels sont les couples à transmettre. Le réducteur sera dimensionné alors en fonction de ces couples et de la précision voulue pour le positionnement du capteur. Il serait dès lors possible de diminuer la taille du réducteur et donc le coût de fabrication. Nous gagnerions aussi en encombrement et donc en surface de réflexion.

3.5.3 Supports de lamelles

Dans le but de simplifier le montage des lamelles sur les supports, l'idéal serait d'avoir un cadre dans lequel viendrait s'emboîter les lamelles. Toute la partie montage de lamelles pourrait avoir lieu en atelier et le montage du cadre sur la structure pourrait être effectué de manière plus simple sur le chantier.

Un autre point essentiel serait la forme du profilé utilisé pour les supports de lamelles. Il vaudrait mieux un profilé en T inversé. Ceci éviterait la déformation de torsion des supports due à la chaleur ainsi que la déformation due au réglage de planéité par la vis située sur la tige de renfort du support. Sur le support actuel, le renfort est soudé sur l'aile du profilé mais pas dans le prolongement de l'âme. Cela veut dire que lorsque nous cherchons à redresser le support à l'aide de la vis sur le renfort, nous imposons au support un moment de torsion.

3.5.4 Lamelles

La fabrication des lamelles miroirs en sandwich est, de plus, relativement onéreuse et demande énormément de temps (environ 12 semaines coupe en longueur comprise).

Le plan miroir serait à redimensionner de manière à limiter le nombre de largeurs et de longueurs de lamelles. Ce redimensionnement simplifierait la fabrication, la manutention ainsi que le montage des lamelles.

De plus, le verre a l'inconvénient de s'effriter suivant la manière dont il est manutentionné.

L'idée serait de trouver un autre type de miroir capable de supprimer les inconvénients précités, tout en gardant des propriétés de réflexion suffisantes.

Une idée qui pourrait être étudiée serait celle d'une tôle emboutie, percée, et modelée selon le plan d'inclinaison des lamelles, recouverte d'une couche réfléchive. Cette solution diminuerait le nombre de pièces sur la structure, éviterait l'utilisation du verre et simplifierait nettement le montage, mais risque de diminuer la qualité de réflexion du soleil.

3.5.5 Méthode de clipsage

La méthode de clipsage n'est pas encore idéale. L'idée des clips est bonne car elle permet d'avoir un seul type de clip, quelle que soit sa position sur le plan miroir.

Le maintien est bon ; par contre, la fabrication du support de lamelles (perçage dans de l'acier inoxydable) est coûteuse et la mise en place des clips et des lamelles demande une attention particulière et une extrême minutie.

3.5.6 Supports de collecteur

Les supports de collecteurs produisent sur le capteur une ombre portée. Il faudrait dimensionner à nouveau ces supports ou trouver un autre moyen de fixation afin de diminuer au mieux cette ombre. Actuellement, la dimension des supports de collecteur est un bon compromis entre la rigidité et l'ombre portée. Cependant, il devrait être possible de trouver un autre système de fixation pour diminuer les dimensions des supports.

Afin de rigidifier au mieux le système, nous pourrions bloquer les supports de collecteur à l'aide de deux vis sur les flasques et donner un degré de liberté supplémentaire (compensation de la dilatation du collecteur).

3.5.7 Montage

Comme pour les supports de lamelles et les lamelles, une partie du montage de la centrale pourrait être effectué en atelier. C'est le cas des paliers ainsi que des roulements qui pourraient être graissés et montés ailleurs que sur le chantier, endroit propice à la poussière. Il faudrait alors trouver une autre base de référence pour l'alignement en hauteur des paliers.

Les axes et les flasques pourraient aussi être assemblés en atelier avec les roulements et le tout montés sur les pieds sur le chantier. Le temps de montage serait diminué.

3.5.8 Apport de puissance

Dans la configuration actuelle, c'est à dire deux lignes de capteur et un moteur TOTEM, la puissance fournie à cette époque de l'année suffit à peine à faire tourner les deux cycles ORC et à produire de l'électricité.

Le manque de puissance pour un meilleur fonctionnement est dû à un manque d'ensoleillement et une surface effective de réflexion diminuée.

Un apport de puissance thermique peut être utile pour augmenter la vitesse de montée en température du circuit ainsi que pour la stabilisation lors de passage nuageux. Il serait ainsi possible d'utiliser au mieux la période de rayonnement solaire durant la journée. Le moteur TOTEM joue ce rôle mais des ennuis mécaniques l'empêchent d'être efficace et stable à 100 %.

4 Mise en service

Une fois la pompe installée, nous avons pu remplir le circuit d'eau. Pour ce faire, nous avons directement versé l'eau dans le vase d'expansion. Ensuite, pour faire circuler l'eau partout dans le circuit, nous avons mis un peu de pression, l'eau est ainsi montée dans les collecteurs qui se trouvent plus hauts que le vase d'expansion. Nous avons ensuite fait circuler l'eau à l'aide de la pompe et avons purgé l'air régulièrement. Une fois l'air purgé, nous avons mis le circuit sous une pression plus importante, environ 5 [bars] et avons attendu le lendemain pour voir s'il y avait une fuite ou non. Comme il n'y en avait pas, nous avons monté la pression à 10 [bars].

Nous avons mis au total environ 300 [litres] d'eau déminéralisée dans le circuit. L'avantage de l'eau déminéralisée réside dans le fait qu'elle est moins calcaire et nous risquons donc un peu moins d'encrassement. Lors du remplissage définitif pour des essais sur longue durée, il ne faut pas oublier de rajouter dans l'eau un produit antioxydant évitant la corrosion.

5 Essais

Les essais effectués ont eu pour but premier de définir la possibilité d'accoupler le cycle ORC du LENI avec le capteur et d'évaluer l'efficacité de ce dernier. Le dimensionnement du cycle par rapport au capteur a été défini à partir d'essais effectués sur une version précédente du capteur extra – plat (CEP2). Le cycle est prévu pour tourner avec un débit de fluide caloporteur de 0,8 [l/s]. Nous nous sommes basés sur ce débit pour effectuer nos mesures.

Pour ce faire, il a fallu définir une puissance thermique disponible aux bornes de l'échangeur entre le capteur et le cycle. La puissance thermique disponible est proportionnelle au rayonnement solaire ainsi qu'au rendement du capteur. Nous nous sommes donc basés sur l'idée d'évaluer le rendement du capteur et de vérifier qu'en cette période de l'année le rayonnement solaire soit suffisamment élevé pour effectuer le couplage.

5.1 Equations utilisées

Dans le but de simplifier au mieux la lecture de ce rapport, la plupart des équations utilisées pour les tableaux de mesures sont expliquées en annexe.

5.2 La prise de mesures

Le calcul du rendement du capteur ou de la puissance thermique disponible se fait à régime constant, c'est à dire que toute l'énergie fournie par le capteur est utilisée aux bornes de l'échangeur. Dans notre cas, pour refroidir l'eau du capteur, nous avons une arrivée d'eau industrielle. La difficulté durant la prise de mesures avant l'accouplement au cycle ORC du LENI fut de stabiliser la chute de température aux bornes de l'échangeur à une certaine valeur. Soit le débit d'eau de refroidissement était trop important, soit il était trop faible, ce débit de refroidissement était excessivement délicat à régler. Les résultats ont été meilleurs et le régime plus stable lorsque le capteur a été couplé au cycle.

C'est pour cette raison que les parties stables dans nos premiers résultats n'ont pas été idéales. A certains moments, la température moyenne du capteur continuait à augmenter, ce qui signifie que nous ne refroidissions pas assez ou au contraire à diminuer lorsque nous refroidissions trop. A certains moments, nous avons eu des difficultés à stabiliser du fait d'une fluctuation du rayonnement solaire.

5.2.1 Valeurs mesurées

Les valeurs mesurées pour définir la possibilité de couplage sont les suivantes :

- la température d'entrée d'eau chaude dans l'échangeur ($T_{\text{entrée échangeur}} [^{\circ}\text{C}]$)
- la température de sortie d'eau chaude dans l'échangeur ($T_{\text{sortie échangeur}} [^{\circ}\text{C}]$)
- la température ambiante ($T_{\text{amb}} [^{\circ}\text{C}]$)

- le rayonnement solaire global dans un plan incliné suivant la trajectoire du soleil (G_{gl} [W/m²])
- le rayonnement solaire diffus dans un plan horizontal (G_{dh} [W/m²])
- le débit volumique de l'eau ($\dot{m}$ [l/s])

Le rendement est défini comme étant égal au rapport entre la puissance thermique et la puissance solaire (η %).

Afin de définir quelles sont les caractéristiques de chaque ligne du capteur, nous avons 3 thermocouples sur chaque ligne répartis comme suit :

- 1 thermocouple à l'entrée d'eau dans l'insert du collecteur
- 1 thermocouple intermédiaire entre la partie arrivée de l'eau et la partie chauffage de l'eau, pour définir les pertes thermiques entre l'aller et le retour de l'eau dans le collecteur
- 1 thermocouple à la sortie du collecteur pour définir quelle est l'échange thermique entre la puissance solaire et la puissance absorbée par le collecteur

Par manque de temps, les mesures de ces thermocouples n'ont pas été prises en considération. Nous nous sommes penchés sur la différence de température aux bornes de l'échangeur qui nous fournissait la puissance thermique totale fournie par le capteur, y compris les pertes thermiques dues aux canalisations.

Ces valeurs ont été mesurées à l'aide des appareils suivants :

5.2.2 Thermocouples

Les thermocouples mesurent une température mais fournissent une tension. La fonction température – tension d'un thermocouple est linéaire. Grâce à un appareil fourni par le LENI spécialement conçu pour lire une valeur à partir d'un thermocouple, et en mesurant la tension aux bornes du thermocouple à l'aide d'un multimètre, nous avons été en mesure de définir la caractéristique tension - température de chaque thermocouple. Une fois cette caractéristique définie, nous pouvons connaître la température correspondante à chaque tension fournie par le thermocouple.

5.2.3 Solarimètres

Les solarimètres mesurent un rayonnement. La caractéristique des solarimètres est linéaire et la constante de chaque appareil est indiquée sur ce dernier. Un étalonnage plus précis a été effectué par le LESO qui nous a transmis la caractéristique tension – rayonnement de chaque solarimètre.

5.2.4 Débitmètre

Le débitmètre a été étalonné l'année dernière et les valeurs sont lisibles directement sur l'interface prévue à cet effet.

5.2.5 Relevé manuel des mesures

Le couplage n'ayant pas encore eu lieu lors des prises de mesures pour les essais jusqu'au 4 novembre 2000, il nous a fallu trouver une méthode afin d'effectuer les mesures les plus précises possibles. Pour ce faire, le LESO nous a prêté un appareil programmable ayant la possibilité de mesurer des tensions et de mettre en mémoire les valeurs obtenues (data logger).

Les mesures du 19 septembre 2000 ont été relevées manuellement à l'aide d'un multimètre digital. La plupart des mesures à relever étaient des tensions. Nous nous sommes dès lors évertués à mesurer ces tensions et à les convertir dans les valeurs dont nous avons besoin pour les calculs. C'est pour cette raison que pour les mesures avant le 21 septembre, nous avons des valeurs que nous considérerons comme grossières. Nous estimons que ces valeurs sont quand même suffisantes afin de donner un ordre de grandeur des valeurs à obtenir.

A partir du 22 septembre, nous avons pu effectuer des mesures plus précises à l'aide d'appareils adaptés.

5.2.6 Data logger

Le data logger est l'appareil que nous avons utilisé pour effectuer les mesures à partir du 22 septembre et jusqu'au couplage du capteur avec le cycle ORC. Cet appareil est capable de mesurer des tensions et de les stocker. Nous l'avons programmé afin de mesurer les valeurs de chaque appareil chaque seconde et lui avons demandé de faire une moyenne toutes les 60 secondes. Ainsi nous avons une valeur moyenne de chaque appareil chaque minute. Tant que le data logger est sous tension, il relève les mesures. Nous avons donc des mesures en continu durant 24 heures. Il suffit ensuite de transférer les données sur un ordinateur et de les traiter afin d'obtenir les résultats.

5.2.7 Câblage

Les câbles utilisés pour transmettre le signal d'un appareil (thermocouple, solarimètre, etc.) au data logger étaient blindés, réduisant au maximum les perturbations électromagnétiques. De plus, les câbles de signal étaient le plus possible éloignés des câbles d'alimentations dans la cabane. Il peut quand même subsister une légère distorsion du fait des champs électriques engendrés par le courant dans les câbles d'alimentation.

5.3 Historique des mesures

14.09.00 Nous effectuons la première montée en température avec les deux lignes. Le nouveau logiciel de tracking n'étant pas encore spécialement au point, nous devons utiliser l'ancien programme en ouvrant deux sessions différentes et en réglant les paramètres de communications pour chaque capteur. La tache focale sur la première ligne semble moins nette que sur la 2^e, nous pensons que ceci peut être dû au calcaire déposé sur le collecteur.

Les seuls instruments de mesures que nous possédons sont :

- 1 multimètre digital pour mesurer la tension aux bornes des solarimètres
- 1 thermomètre analogique soudé sur la conduite au niveau de la pompe
- 1 pressostat analogique soudé sur la conduite au niveau de la pompe
- 1 débitmètre situé sur la partie entrante de l'eau dans le collecteur



Le thermomètre est situé à la sortie de l'échangeur, juste avant la pompe de circulation

Figure 5-1 Thermomètre analogique utilisé pour les premières mesures

La température initiale est d'environ 22 [°C] et la pression à l'intérieure du circuit d'environ 10 [bars]. Nous avons atteint une température d'environ 147 [°C] après environ 3h40' de chauffage et un débit moyen de 1.1 [l/s]. Nous pensons que le temps est long du fait de cette couche sur le collecteur de la première ligne. A 14h45, la soupape de sécurité a joué son rôle. La pression à l'intérieure du circuit était supérieure à 12 [bars]. Ceci est dû à la dilatation de l'eau qui, du fait du circuit fermé, fait augmenter la pression.

Le ciel est bleu mais laiteux

Cet essai avait pour but d'évaluer le temps de chauffage et d'apprendre le fonctionnement du capteur

-
- 15.09.00 La montée en température s'effectue sans le vase mélangeur. Le débit est plus faible est correspond à celui proposé par le LENI, il est de 0.8 [l/s] en moyenne, il varie légèrement selon la température de l'eau qui devient plus fluide à haute température.
- Nous sommes passés de 45 [°c] à environ 153 [°c] en 1h17'.
- Le ciel est bleu. Bien dégagé.
- Cet essai avait pour but d'évaluer le temps de chauffage sans le vase mélangeur.
- Nous avons reçu le nouveau programme de tracking, il va falloir le faire fonctionner pour le tester.
- Un des appareils d'acquisition de mesures prêtés par le LENI pour nos essais révèle un dysfonctionnement. Il ne veut pas nous indiquer de mesures de températures pour les thermocouples. Nous continuons donc à nous baser sur le thermomètre analogique.
- 19.09.00 Nous avons tenté de nettoyer les collecteurs. La couche de calcaire est persistante mais les collecteurs sont redevenus relativement clairs. La montée en température s'effectue toujours sans vase mélangeur. Le débit moyen est de 0.6 [l/s]. Les essais ont débuté tôt de manière à voir l'impact de la position du soleil sur le capteur. Nous sommes passés de 57 [°c] à 138 [°c] en 1h03'. Vers midi, sur une période de 20 [minutes], nous avons refroidis le système, ce qui nous a donné un rendement de l'ordre de 20 %. C'est faible et cela correspond pas à nos attentes. Il y a donc certains points à vérifier telle que la focale sur les collecteurs.
- Durant l'après-midi, nous avons vérifié la focale du collecteur de la première ligne. Nous avons constaté qu'en fait, la faiblesse de la tache correspondait à un léger décalage d'environ 1 [°]. Nous avons réglé l'offset de la 1^{ère} ligne et avons constaté que la 2^e ligne avait perdu sa concentration. En fait, la raison est que la position de la 2^e ligne se base sur la position de la 1^{ère}. Si nous réglons l'offset de la première de 1.1 [°] par exemple, il faut régler la 2^e de -1.1 [°]. Ce point est à faire modifier dans le logiciel car nous voulons pouvoir commander chaque ligne indépendamment l'une de l'autre.
- Dans le courant de l'après-midi, nous avons effectué une 2^e série de mesures avec refroidissement durant environ 20 [minutes] avec un débit de 0.8 [l/s]. Le rendement obtenu est de l'ordre de 48 %. Il correspond davantage à nos attentes. Compte tenu du rayonnement solaire, la puissance thermique fournie est d'environ 20 [kW]. Cette puissance est un peu faible pour que le cycle ORC puisse fonctionner sans apport thermique auxiliaire (TOTEM). Si nos prochaines mesures confirment le rendement de 50 %, avec un ensoleillement plus important, nous
-

-
- serons en mesure de tourner avec le cycle à régime minimum sans apport énergétique autre que celui du soleil.
- 22.09.00 Nous avons installé et programmé le data logger. Nous sommes en mesure d'avoir une acquisition plus précise de nos mesures.
- Il n'y a pas eu de mesure le matin car il a fallu programmer et brancher le data logger.
- Avec un débit de 0.84 [l/s] et compte tenu de l'ensoleillement du jour, nous obtenons une puissance thermique d'environ 30 [kW] et un rendement d'environ 52 %. Ces valeurs rejoignent celles du 19.09.00, ce qui nous permet de dire au LENI que nous avons la puissance nécessaire pour accoupler le capteur à leur cycle ORC.
- 23.09.00 La stabilisation n'est pas idéale mais correspond mieux à ce que nous attendions. La température moyenne du circuit continue à évoluer vers le haut, ce qui nous pousse à dire que le rendement du capteur calculé est inférieur au rendement réel du capteur. Le rendement calculé est quand même de l'ordre de 45%. Il faut un peu moins d'une heure et demie pour élever les 300 [litres] d'eau ainsi que les presque 600 [kg] d'acier de 60 [°C] à 160 [°C].
- 25.09.00 Du fait des conditions climatiques changeantes (passages fréquents de nuages), nous n'avons pas été en mesure de stabiliser la température du capteur lors du refroidissement sur une longue période. La stabilisation a eu lieu sur une période de moins de 10 [minutes]. Nous pensons que c'est un peu faible pour définir un rendement correct car cela correspond à peine au renouvellement du circuit d'eau. Comme nous avons 300 [litres] d'eau et un débit de 0,8 [l/s], il faut compter une inertie du circuit d'environ 6 [minutes]. Le temps de stabilisation a été de 8 [minutes]. Nous pouvons à la limite considérer un refroidissement stable.
- 26.09.00 Nous n'avons pas réussi à stabiliser la température. Le rayonnement solaire n'étant pas constant, il a été difficile de trouver une ouverture de vanne adéquate et donc de stabiliser la température.
- Nous avons quand même essayé de calculer le rendement du capteur entre 13h51 et 16h04. Le rendement obtenu est de 21.5 % mais la température d'entrée de l'eau chaude dans l'échangeur a augmenté de 10 [°C].
- 28.09.00 Le ciel était brumeux et nous avons eu des problèmes avec une nouvelle version du programme de tracking, il calculait mal la trajectoire du soleil ce qui fait que le capteur ne focalisait plus correctement.
- 03.10.00 Maintenant que nous avons pu estimer la puissance thermique, nous nous sommes penchés sur un moyen de mesurer plus correctement le rendement du capteur. Nous sommes partis dans l'idée de refroidir avec un débit d'eau froide plus
-

important et de stabiliser la température du capteur à un niveau plus faible afin d'obtenir le rendement du capteur sans avoir trop de pertes thermiques dues au manque d'isolation. Malheureusement, le ciel n'a pas été de cet avis.

- 04.10.00 Le ciel est brumeux et le capteur n'a pas envie de suivre le soleil correctement, il faut régler la focale régulièrement (presque toutes les heures). Après discussions avec le responsable, c'est une erreur de time zone (c-à-d la différence entre l'heure européenne et l'heure réelle du soleil) sur le programme qui décale la trajectoire calculée du soleil. Une fois ce point modifié, le capteur est à nouveau opérationnel mais le soleil, lui, ne l'est plus.
- 23.10.00 Le temps n'est pas clément, il y a du brouillard toute la journée. A 16h00 une éclaircie nous invite à effectuer des mesures. Nous fermons les vannes du vase mélangeur afin que le by-pass soit établi et que le temps de chauffe soit diminué. 16h35, nous avons atteint une température d'environ 90 [°C] avec comme température initiale environ 20 [°C]. Nous commençons à refroidir à l'aide du cycle ORC afin de faire tourner les turbines et éviter un grippage lors d'une journée ensoleillée. Il ne faut pas que nous perdions un jour de beau en cette période de l'année. Les résultats durant le refroidissement avaient l'air concluant. Nous n'avons pas relevé les mesures dans un tableau mais nous pouvons dire que nous avons été en mesure de tenir un refroidissement constant avec une différence de température d'environ 9 [°C], ce qui nous réjouit pour la suite des mesures. A cette heure de la journée, il y a 3 lamelles du plan miroir de la 2^e ligne qui sont à l'ombre due au chantier du PSE-C. Nous avons ainsi constaté qu'à partir de 16h30, il devient presque inutile de continuer les mesures. A 17h10, la quasi totalité de la 2^e ligne était à l'ombre tandis que la première commençait sur une dizaine de lamelles à être à l'ombre de la 2^e. Une grande partie de la partie hydraulique de la 2^e ligne a été isolée. Il reste les flexibles de type BOA à isoler.
- 25.10.00 Le temps était clément à partir de 10h00, nous nous sommes attelés à monter en température afin d'effectuer des mesures. Le temps utile pour la montée en température fut long. Le ciel était laiteux et le rayonnement direct n'était guère supérieur à 450 [W/m²]. De plus, nous avons dû régler la focale du capteur. Avec la version précédente du tracking, il y avait une différence d'un jour entre le jour solaire et le jour actuel du fait de l'année bissextile ; ce point a été modifié lors du changement de la version du programme, il se peut donc que nous suivions le soleil avec un jour d'avance et ceci peut peut-être expliquer le phénomène de perte de focale durant la journée. Si ce problème persiste, il faudra effectuer des tests supplémentaires et reprendre le programme afin de définir où le problème se situe.
- Nous avons profité aussi pour régler le support du solarimètre sur la cabane car le soleil ayant perdu de la hauteur, il mesurait plus que le diffus uniquement.

Après ces quelques événements, nous avons quand même pu effectuer des essais. Nous avons pu endencher les deux turbines du cycle ORC. Le seul hic fut que la turbine du cycle du bas n'arrivait pas à stabiliser à cause d'un manque de réfrigérant. Une fuite avait été constatée mais l'ampleur de la fuite n'étant pas connue, il n'y a pas eu de rajout de réfrigérant. La stabilité n'ayant pas pu avoir lieu, une trop grande demande de puissance sur le capteur a fait chuter la température. Il n'y a donc pas eu de point stable. Ensuite, nous avons laissé le capteur reprendre des forces avant de tenter un 2^e essai mais avec une seule turbine. Nous avons constaté qu'il manquait un peu de puissance de la part du capteur. Ce manque est dû au rayonnement solaire qui n'est pas aussi important qu'en plein été. Nous espérons que le moteur TOTEM puisse être rapidement réparé afin de compléter la puissance thermique pour faire tourner les cycles.

27.10.00 Le ciel s'est dégagé aux environs de midi. Nous avons commencé la montée en température à cette heure-ci. Par moment, il y a eu quelques passages nuageux qui nous ont empêché de monter en température rapidement. De plus, nous avons constaté que du fait de la déclinaison du soleil, les $\frac{3}{4}$ du collecteur le plus au sud de la ligne n'étaient pas utilisés. Nous pouvons en déduire que les $\frac{3}{4}$ du plan miroir du dernier module ne sont pas utiles quant à la concentration. Il faudra tenir compte de ce point dans le calcul du rendement.



Figure 5-2 Réflexion du soleil sur le collecteur Sud

Dans le courant de l'après-midi, le ciel s'est voilé, nous avons tenté d'utiliser le moteur TOTEM pour compenser le manque de soleil mais un problème de vanne thermostatique ne nous a pas permis la prise de mesures avant environ 16h30, période où le capteur « Est » commence à être ombragé à cause du chantier du nouveau bâtiment du PSE. Nous avons quand même profité de cette période pour refroidir le capteur de manière à stabiliser la température à environ 145 [°C] et effectuer des mesures.

Un second point qu'il faudra prendre en considération est le fait que 2 à 3 % du débit d'eau chaude est récupéré pour évaporer le réfrigérant dans le ballon de séparation huile réfrigérant. Ces 2 % sont à déduire du débit et donc, du calcul du rendement.

28.10.00 Nous avons essayé de mesurer quelques points pour déterminer la courbe caractéristique du capteur. Pour ce faire, nous sommes montés en température et avons stabilisé au mieux la température à différents paliers. Dans le but de confirmer la stabilisation, à chaque palier, au minimum 2 mesures ont été effectuées. Le temps de stabilisation n'est pas long mais on peut voir sur les graphiques de l'interface Labview que le moindre changement sur le niveau de refroidissement se répercute sur le capteur assez rapidement. Le bilan de la journée est :

- 2 points à 55 [°C]
- 3 points à 70 [°C]
- 3 points à 90 [°C]
- 2 points à 110 [°C]

Le ciel était bleu mais légèrement voilé, il y avait toujours des traces d'avions passés dans le ciel qui nuisaient à la stabilité du rayonnement. Le débit était plus important que d'habitude, il se trouvait aux environs de 0.88 à 0.89 [l/s].

Nous avons aussi inséré sur un des graphiques de l'interface Labview la courbe de rayonnement. Cette courbe est en pourcentage d'un rayonnement direct égal à 600[W/m²].

5.3.1 Exemple de stabilisation

Nous pouvons voir sur les figures (Figure 1) et (Figure 2) la stabilité de la température moyenne obtenue lors du refroidissement avec le cycle. Nous avons deux niveaux de température différents ainsi que deux rayonnements différents.

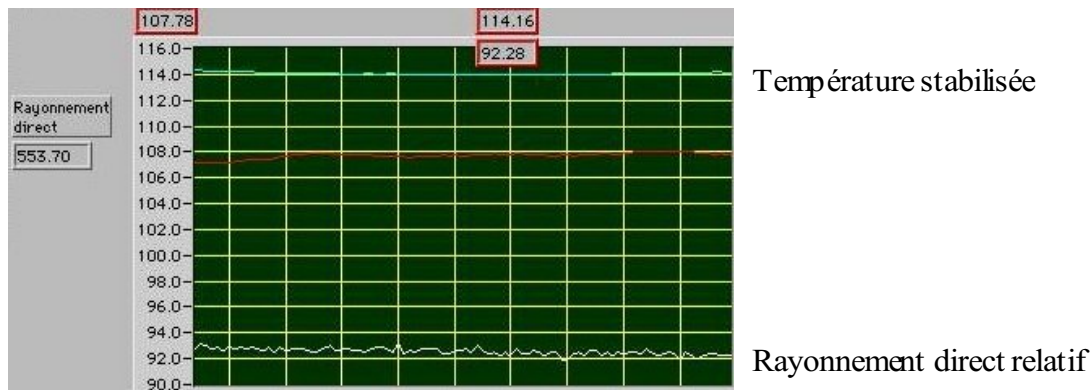


Figure 5-3 Stabilisation de T_{moy} à 114 [°C] environ

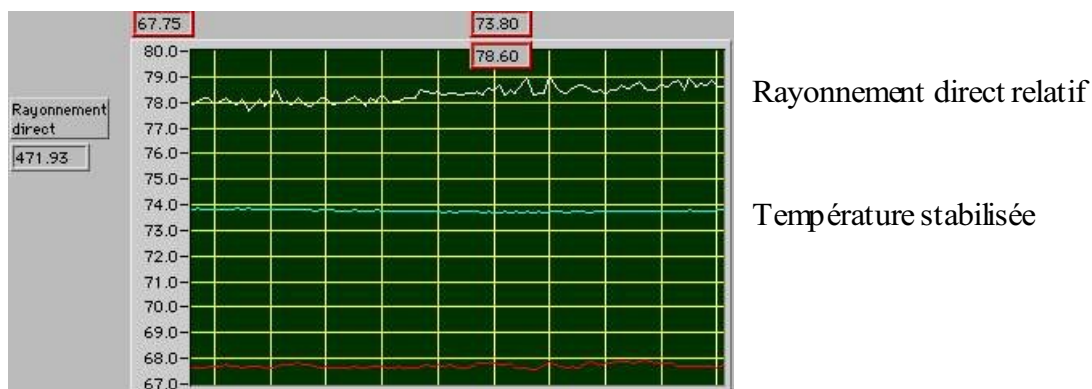


Figure 5-4 Stabilisation de T_{moy} à 74 [°C] environ

5.4 Compte rendu des essais

Deux types de mesures ont été effectuées, l'une étant entreprise pendant la montée en température du système (début de journée) et l'autre pendant un régime de fonctionnement stable. Les secondes mesures sont bien entendu les seules références pour déterminer le rendement actuel du capteur.

Les tableaux ci-dessous ne peuvent pas être comparés à 100 % aux tableaux indiqués dans le rapport final de 1999. Les températures utilisées pour mesurer le rendement dans les essais de l'année passée ont été prises à l'entrée et à la sortie du capteur. Ils ne prenaient pas en considération les pertes thermiques dans les conduites hydrauliques reliant le capteur à l'échangeur du cycle ORC. Cette année, l'écart de températures a été pris aux bornes de l'échangeur du cycle ORC car c'est à cet endroit que nous avons besoin de la puissance thermique pour le cycle. Les rendements ne sont dès lors pas forcément plus élevés que ceux de l'année précédente, contrairement à ce que l'on pourrait s'attendre avec les modifications effectuées sur les lignes, mais les pertes thermiques du circuit hydraulique ont été prises en compte.

A titre d'information et d'observation, des rendements moyens ont été déterminés par bilan énergétique lors des montées en température.

Tableaux résumé des valeurs

Tableau 1 Mesures des rendements lors des montées en température

Date	Avec vase mélangeur [oui / non]	t _{chauffage} [hh:mm]	T _{chauffage} [°C]	t _{finale} [hh:mm]	T _{finale} [°C]	Energie thermique [kWh]	Energie captée [kWh]	Rendement [%]
22.09.00	oui	11:00	75.95	11:30	126.97	22.13	25.57	86.55
22.09.00	oui	12:32	119.86	12:54	140.92	9.13	17.27	52.85
22.09.00	oui	14:27	101.11	14:55	140.78	17.21	24.95	68.97
23.09.00	non	11:20	56.36	12:40	159.54	38.63	70.83	54.53
25.09.00	oui	10:00	45.73	11:30	139.28	40.41	63.62	63.53
26.09.00	oui	09:00	64.66	10:30	150.53	37.45	62.73	59.7
28.09.00	oui	09:00	48.52	10:30	145.78	42.42	67.62	62.73

Les rendements du tableau ci-dessus (par rapport à l'énergie) ne donnent qu'une valeur indicative, ils ne peuvent en aucun cas être validés et pris comme étant exacts pour l'établissement de la courbe d'efficacité du capteur. Trop de paramètres sont non - contrôlés (variations de rayonnement dues à des passages nuageux, pertes thermiques par convection sur des conduites hydrauliques non isolées,...).

Il y a également le fait que le rayonnement varie beaucoup entre le matin et l'après-midi ce qui entraîne une variation des rendements et des caractéristiques de l'installation.

Cette variation augmente lorsque l'on se rapproche de l'hiver. L'angle entre la trajectoire solaire et l'horizontale diminue, ce qui entraîne une augmentation de la couche atmosphérique à traverser et une diminution de la puissance de rayonnement. Le matin, les rayons du soleil sont presque à plat et on se donne la peine à percer l'atmosphère humide, le diffus est important. Dans l'après-midi, lorsque les brumes matinales ont disparu et que le ciel s'est éclairci, le diffus devient faible.

Tableau 2 Mesures de rendement lors d'essais de stabilisation

ID	Date	t _{chaud} [hh:mm]	t _{fr} [hh:mm]	T _{entrée} échangeur [°C]	T _{sortie} échangeur [°C]	ΔT [°C]	Débit [l/s]	Puissance thermique [kW]	Puissance captée [kW]	Rendement [%]
1	19.09.00	12:12	12:31	144	141	3	0.8	10.25	55.07	18.61
2	19.09.00	16:00	16:20	133.7	127.9	5.8	0.8	19.95	40.97	48.87
3	22.09.00	15:41	16:30	138.79	129.88	8.9	0.8	30.42	58.77	51.76
4	23.09.00	15:00	16:00	142.5	137.4	5	0.82	17.35	39.12	44.9
5	25.09.00	15:05	15:13	152.8	146.9	5.9	0.84	21.9	41.43	52.5
6	26.09.00	14:30	16:04	144.5	140.9	3.6	0.81	12.42	54.92	22.6
7	28.09.00	10:49	12:07	146.3	142.7	3.6	0.77	11.93	50.92	23.3
8	03.10.00	12:52	13:15	23.1	18.8	3.6	0.79	12.3	51.99	23.6
9	27.10.00	16:20	16:34	145.71	138.67	7.04	0.83	24.96	45.13	55.3
10	28.10.00	13:49	13:54	58.73	53.82	4.91	0.85	17.92	36.19	49.52
11	28.10.00	14:21	14:29	74.04	67.89	6.15	0.87	22.87	39.64	57.68
12	28.10.00	15:12	15:19	92.4	85.3	7.1	0.88	26.55	44.98	59.03
13	28.10.00	15:54	16:04	114.02	107.58	6.44	0.86	23.77	46.35	51.28

Les données dans le tableau ci-dessus ont été obtenues par stabilisation de la température. Le circuit était refroidi par de l'eau industrielle passant d'environ 10°C liquide à environ 100°C vapeur. Le débit de refroidissement était relativement faible et sa régulation était rendue très difficile du fait d'une ouverture minime de la vanne. Pour cette raison il nous a été difficile de stabiliser correctement et longtemps, la température. De plus, le rayonnement n'étant pas constant il fallait sans cesse modifier l'ouverture de la vanne d'eau de refroidissement. A partir de mi-octobre, nous avons couplé le capteur avec le cycle ORC du LENI, ce qui nous a permis d'avoir une meilleure stabilité lors du refroidissement.



Figure5-5 Vaporisation de l'eau de refroidissement

Le 19 septembre, deux essais de stabilisation ont été mesurés. Le matin, le rendement était d'environ 20 %, c'est là que nous avons constaté que le capteur ne focalisait pas complètement. L'après-midi, après avoir réglé l'offset du capteur afin qu'il focalise correctement, nous avons obtenu un rendement légèrement plus compatible avec nos attentes, d'environ 50 %.



Figure5-6 Tache focale sur le collecteur

Les 26, 28 septembre ainsi que le 3 octobre le rayonnement n'était pas d'une stabilité idéale, de plus, nous n'avons pas réussi à stabiliser correctement le refroidissement. Nous pouvons voir dans les graphiques annexés que la température moyenne du capteur continue à évoluer vers le haut, ce qui nous fait dire que nous dépensons moins que ce que nous fournit le capteur. C'est pour cette raison que les rendements calculés sont aussi faibles. Pour avoir le rendement du capteur, il faudrait aussi tenir compte de la puissance thermique utilisée pour l'échauffement du circuit.

5.5 Efficacité du capteur

Dans le but de définir clairement les caractéristiques du capteur, une courbe a été normalisée. Cette courbe nommée « efficacité d'un capteur » nous donne le rendement du capteur en fonction de la valeur x. La valeur x est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Eq. (4.1)} \quad x = \frac{\left[\frac{(T_{\text{in}} + T_{\text{out}})}{2} \right] - T_{\text{amb}}}{G} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$$

où :

T_{in} : Température d'entrée de l'eau chaude dans l'échangeur $[^{\circ}\text{C}]$

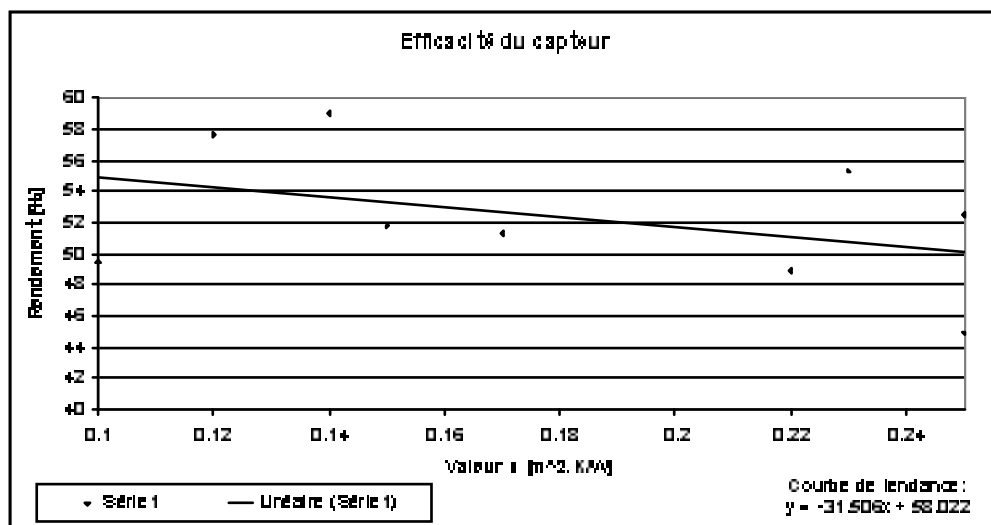
T_{out} : Température de sortie de l'eau chaude dans l'échangeur $[^{\circ}\text{C}]$

T_{amb} : Température ambiante $[^{\circ}\text{C}]$

G : Rayonnement solaire $[\text{W/m}^2]$

Les mesures effectuées nous ont donnés quelques points indiqués dans le graphique 1.

Graphique 1 Efficacité du capteur



Une courbe de tendance a été dessinée de manière à voir l'évolution du rendement en fonction de la valeur x. Cette évolution est décroissante en fonction de la valeur x, chose que nous pouvons éclaircir. Lorsque la température moyenne du capteur se situe proche de la température ambiante, la valeur x tend vers 0, et le rendement du capteur est maximum, les pertes thermiques sont quasiment nulles. Lorsque la différence entre la température moyenne du capteur et la température

ambiante est grande, le rendement du capteur chute car les pertes thermiques deviennent importantes.

5.6 Remarques

Il ne faut pas oublier de préciser que les lamelles n'étaient pas excessivement propres, il y a donc eu une perte du pouvoir de réflexion du miroir de ce côté là. De plus, une couche de calcaire s'est déposée sur les collecteurs de la première ligne durant l'hiver. Cette couche est opaque et difficile à enlever et perturbe la concentration des rayons au niveau du collecteur. De plus, l'isolation des conduites de la 2^e ligne n'avait pas été effectuée lors de la prise des mesures jusqu'à mi-octobre. Nous pouvons donc sans soucis affirmer que le rendement ainsi que la puissance thermique disponible sont supérieurs aux valeurs calculées à l'aide des mesures effectuées jusqu'à présent.

Pour le calcul de la puissance captée, nous avons tenu compte de la hauteur du soleil. Le rayonnement n'étant pas parfaitement perpendiculaire au capteur, une partie de la surface de réflexion n'était pas utilisée. Nous avons pris pour nos calculs, une surface effective de plan miroir.



Figure 5-7 Perte de réflexion due à la déclinaison solaire

On peut voir sur le graphique 1 que les valeurs de rendement pour le capteur avoisinent les 53% en moyenne.

Comme nous l'avons vu précédemment, pour cette série d'essais, nous avons pris les températures aux bornes de l'échangeur. Nous avons donc inclus dans le calcul du rendement, les pertes thermiques dans les canalisations du circuit hydraulique. Nous ne sommes pas en mesure de chiffrer quelle est la valeur des pertes dans les conduites mais nous pouvons sans autre estimer

le fait que le rendement aux bords du capteur devient sans autres supérieur à celui mesuré l'année passée. Les modifications sur la partie réflexion du capteur ont apporté une augmentation du rendement non négligeable.

De plus, nous avons vu dans le rapport de 1999 que le rendement du capteur augmente en fonction du rayonnement solaire. Nous pouvons dire que le rendement du capteur en plein été sera encore supérieur à celui que nous avons mesuré dans cette série d'essais.

Nous pouvons donc espérer, dans des conditions idéales, des caractéristiques meilleures pour le capteur.

5.7 Tests de la station SPS

- La température de 160°C est atteinte
- Tous les éléments du circuit hydraulique sont dimensionnés de manière correcte et répondent aux exigences.

5.8 Problèmes rencontrés en 1999

- La dilatation des gabarits étaient trop importante et faussait la réflexion et, de ce fait, la concentration.
- Les supports de collecteurs créaient une perte de concentration de l'ordre de 3%.
- Il n'y avait pas de stabilisation de la température lors du refroidissement

5.9 Remèdes

- Le mode de fixation des lamelles a été modifié et nous n'avons pas vu de problèmes de concentration. Les lamelles sont correctement dirigées de manière à réfléchir le rayonnement solaire vers le collecteur.
- Les supports de collecteurs ont été modifiés de manière à diminuer le plus possible l'ombre portée sur les collecteurs. Des améliorations sont encore envisageables avec un autre système de fixation.
- L'échangeur du cycle ORC avait été prévu pour deux lignes et un apport thermique à l'aide d'un moteur à cogénération. Tous les éléments étaient réunis pour fonctionner ensemble, ce qui fait que nous n'avons pas eu de soucis quant à un refroidissement trop important. Si celui-ci avait lieu, c'était uniquement dû à un mauvais réglage de la part des manipulateurs ou alors un manque d'apport solaire dû à des conditions climatiques non favorables à nos mesures (hauteur du soleil faible au mois d'octobre, passages nuageux, brume matinale, etc...).

5.10 Résultats

- Nous avons gagné en concentration et ce gain peut être vu dans l'augmentation du rendement par rapport à l'année passée.
- L'ombre portée a été diminuée mais il reste encore des possibilités d'améliorations.
- Il est possible de maintenir une température stable au niveau de température demandé pour le bon fonctionnement du cycle ORC.

5.11 L'inertie du capteur

Le volume d'eau ainsi que le volume d'acier ont augmenté en rajoutant la 2^e ligne. Le temps de chauffage a légèrement diminué car nous avons deux fois plus de surface de miroir à disposition. De plus, lorsque le ciel n'est pas clément le matin, nous avons possibilité de coupler le capteur avec le moteur TOTEM qui nous fournit l'énergie nécessaire pour monter en température et diminuer le plus possible le temps de chauffage.

L'avantage de l'inertie du capteur a été remarqué lors du démarrage des cycles ORC. Pour démarrer les turbines et les coupler au réseau, il fallait atteindre une certaine vitesse de rotation et ce démarrage demandait un apport thermique important. L'inertie du capteur apportait la puissance nécessaire pour le démarrage. Après, il était possible de diminuer la demande en puissance thermique pour faire tourner les cycles et stabiliser la température.

Il est vrai que pour utiliser au mieux le rayonnement solaire, il faudrait pouvoir préchauffer le circuit d'eau durant la nuit. Ceci nous laisserait la journée complète pour produire de l'électricité et non uniquement l'après-midi compte tenu de la montée en température le matin.

6 La fiabilité du capteur

Des tests de fiabilité du capteur ne peuvent se faire que sur de grands temps d'essais, c'est pour cette raison que nous ne pouvons pas définir la fiabilité de tous les éléments. Durant les essais que nous avons faits, aucune grosse défaillance du système n'a été constatée.

6.1 Les instruments de mesure

Les instruments de mesure n'ont pas posé de problèmes.

6.2 Le tracking

Si ce n'est quelques erreurs de jeunesse qui ont été corrigées petit à petit, la nouvelle version du tracking semble satisfaisante. Il semblerait par contre, qu'il y ait une différence d'environ $\frac{1}{2}$ [°] sur l'offset de la 2^e ligne entre le matin et l'après-midi mais ce point n'a pas pu être vérifié, faute de bonnes conditions climatiques et de temps. Dans l'ensemble le programme fonctionne convenablement, cependant des essais de suivi devraient être effectués à différentes périodes de l'année afin de voir si la trajectoire du soleil calculée par le programme correspond à sa trajectoire réelle.

6.3 L'entraînement du capteur

Le moteur ainsi que l'entraînement sont fiables et travaillent comme souhaités. Le capteur est toujours précis et sa trajectoire est juste. L'hiver a été un bon test pour voir si les éléments avaient été dimensionnés correctement. L'humidité et le froid n'ont pas créé de problèmes d'oxydation ou de grippage.

6.4 La tuyauterie

La tuyauterie a fait ses preuves. Nous n'avons pas rencontré de problèmes de cavitation, de coups de béliers, de coups de vapeur ou de fuite durant les essais. Un seul point nous a posé soucis, nous avons dû rajouter environ 180 [litres] d'eau dans le circuit après le couplage avec le moteur TOTEM. Nous pensons qu'une partie du fluide est partie dans l'échangeur du moteur et une autre partie a dû partir dans la nature lors du couplage avec le cycle ORC. Il n'y a pas eu de fuite conséquente, ni de perte de pression.

6.5 L'isolation

L'isolation de la tuyauterie ne laisse pas entrevoir de faiblesses, une crainte toute particulière était fondée sur la partie mobile de l'installation. L'isolation des BOA se maintient dans la position initiale, il n'y a pas de déchirures ou autres qui sont apparues.

6.6 Les lamelles

A l'heure actuelle les lamelles répondent aux critères de durée dans le temps que nous avons souhaité. L'hiver n'a pas endommagé les lamelles et même avec la tempête durant le mois de décembre 1999, les lamelles ont bien tenu. Le froid et l'humidité n'ont pas endommagé les lamelles ni leur assemblage(collage).

Un seul point risque de poser souci, ce sont les fientes d'oiseau. Nous avons remarqué sur une partie des lamelles plus exposée aux fientes d'oiseaux que les autres, une légère oxydation de la couche d'argent faisant le miroir. Ce point est à vérifier durant les prochains mois. Au besoin, un enduit protecteur sur les tranches des lamelles devra être envisagé

Il faudrait aussi voir si l'adhésif utilisé pour éviter le contact entre l'acier et le verre résiste à cet hiver.

6.7 Le système de clipsage

Le système de clips utilisé l'année passé a bien tenu aux conditions climatiques hivernales de notre pays. Le nouveau système est à analyser cet hiver. Les essais effectués cette année ainsi que les tests en laboratoire sur le système de clipsagesont toutefois satisfaisants.

6.8 Les structures fixes et mobiles

Tous les éléments en acier qui composent la structure ont fait leurs preuves tant un niveau de la constance dans le temps que de la résistance à l'oxydation, aucun n'a montré des changements de propriétés, de flexion ou de fluage durant l'hiver passé et cet été à l'exception des supports de lamelles qui ont dû être redressés..

6.9 Les collecteurs

Les collecteurs ne posent pas de problèmes majeurs, il faut seulement veiller à les nettoyer avant chaque début d'essai. Il y a juste ce dépôt calcaire à éliminer. Nous pensons qu'il est dû à l'évaporation de l'eau infiltrée entre le papier d'aluminium utilisé pour protéger les collecteurs durant l'hiver et les collecteurs eux-mêmes.

7 Conclusion

Les essais effectués cette année avaient pour but d'évaluer la qualité des modifications apportées au capteur, d'établir une courbe caractéristique du capteur ainsi que définir la possibilité de couplage avec le cycle ORC.

Après quelques mesures, nous avons constatés une nette amélioration des caractéristiques du capteur par rapport aux mesures effectuées l'année passée et avons pu définir quel était l'apport thermique fourni par le capteur. Cet apport a été suffisant pour venir s'accoupler au cycle ORC ainsi qu'au moteur TOTEM et produire de l'électricité à l'aide d'énergie solaire.

La production électrique à l'aide d'énergie solaire uniquement n'a pas été flagrante du fait d'un manque de puissance solaire dû à la période de l'année mais nous avons pu tourner avec le capteur, le cycle ORC et le moteur TOTEM, et produire de l'électricité ce qui nous ouvre de bonnes perspectives pour l'avenir.

Nous estimons que l'utilisation de ce capteur dans une zone dont l'ensoleillement est nettement supérieur à celui de la Suisse peut aboutir sur une production d'énergie électrique propre et rentable.

Le rendement de ce capteur avoisine les 53 %. Nous pensons que ce rendement peut augmenter en améliorant l'isolation, la propreté du plan miroir ainsi que celle des collecteurs et en modifiant légèrement la géométrie de certains éléments de la structure.

Le prototype fonctionne correctement, il ne lui reste plus qu'à s'agrandir et s'imposer dans le monde du fournisseur d'énergie.

8 Bibliographie

- [1] Allani Y. Glauser E., Bucher M., « SPS Rapport final 1999, partie B », Cogener, 1015 Lausanne, 1999
- [2] Dind. P., « Introduction aux énergies renouvelables », Ecole d'Ingénieurs de l'Etat de Vaud, 1400 Yverdon
- [3] Schmuz B., Heritier J.-C., « Synthèse de transfert-chaleur », Ecole d'Ingénieurs du Valais, 1950 Sion, 1998

9 Remerciements

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui nous ont aidés à finaliser le capteur :

M. Emmanuel Glauser pour ses explications sur le capteur

M. Michel Jaquier pour ses compétences lors du montage de la ligne ainsi que pour son aide au développement de la méthode d'alignement des supports de lamelles

MM. Stolz et Sauges de l'EPFL pour la mise à disposition et la manœuvre du chariot élévateur

M. Marc Salle du LENI pour son aide ainsi que pour le prêt d'appareils de mesure

M. Pascal Affolter du LESO pour toutes les données météo ainsi que pour le prêt d'appareils de mesure

M. François Schaller de LESO pour ses informations sur les clips et son aide lors des tests de ces derniers

Toutes les entreprises et fournisseurs avec qui nous avons travaillé pour leurs compétences et leur dévouement

10 Nomenclature

Offset : l'offset correspond au décalage entre la position réelle du soleil et la position calculée du soleil. Cet offset permet aussi de compenser les erreurs lors de la mise à plat du capteur

Mise a plat: la mise à plat du capteur correspond à la position horizontale du plan miroir. C'est en fonction de cette position que l'angle du capteur va être défini pour suivre le soleil. Lorsque le soleil se trouve dans la partie « Est » par rapport au capteur, l'angle est positif, lorsqu'il se trouve dans la partie « Ouest », l'angle est négatif. La correction de mise à plat peut s'effectuer à l'aide de l'offset sur le programme de tracking ou à l'aide de l'offset dans l'ampli du servovariateur.

Rayonnement global: le rayonnement global correspond au rayonnement que reçoit tout objet posé en un point quelconque. Il reçoit le rayonnement dû au soleil ainsi que le rayonnement dû à la réflexion du soleil sur les objets alentours.

Rayonnement diffus: le rayonnement diffus correspond au rayonnement que reçoit un objet placé à l'ombre. Ce rayonnement est dû à la réflexion du soleil sur les objets alentours.

Tracking : le tracking correspond au suivi du soleil par le capteur.