

**OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE  
(OFEN)**

**SECTION RECHERCHES ENERGETIQUES**

**INTEGRATION DE GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES SUR  
LES MARQUISES DE GARES - PROJET PILOTE DE LA GARE  
D'AIGLE**

**RAPPORT ANNUEL 1992**



**Bonnard & Gardel  
ingénieurs-conseils s.a.**

**En collaboration avec COPER : Office de Coopération pour les  
Energies Renouvelables**

**Lausanne  
3719-5  
03.12.1992**

## RAPPORT ANNUEL 1992

Pour les travaux de recherches définis dans le mandat : EF-SUB (92)0117

### **INTEGRATION DE GENERATEURS PHOTOVOLTAIQUES SUR LES MARQUISES DE GARES - PROJET PILOTE DE LA GARE D'AIGLE**

#### **"MARQUISES AU SOLEIL"**

##### **1. Objectifs du projet "Marquises au soleil"**

Dans le cadre de la valorisation de l'énergie photovoltaïque (PV) en Suisse - qui est un des objectifs du Programme ENERGIE 2000 lancé par le Conseil fédéral- le projet "Marquises au soleil" prévoit l'installation et l'intégration architecturale de modules photovoltaïques sur les marquises des quais de gares CFF. L'objectif de cette phase est la mise en place d'une installation PV pilote sur la marquise du quai 2 de la gare d'Aigle.

##### **2. Travaux effectués et résultats**

###### **Bref description du projet Aigle**

Ce projet aboutira à l'installation en 1993 d'une installation PV de 20 kW sur le toit de la marquise du quai 2 de la gare d'Aigle. Elle injectera son énergie dans le réseau local.

Elle sera constituée de 22 demi-rangées de modules M55 de Siemens posées perpendiculairement au grand axe de la marquise. L'angle d'inclinaison de l'ordre de 8° des modules (orientés quasiment au sud à 19° près) sera faible, afin de minimiser les ombres portées mutuelles entre rangée et l'impact visuel, tout en conservant une densité d'occupation de surface élevée.

###### **Démarche employée**

La démarche générale peut être illustrée par les contraintes principales suivantes :

- 1) Les modules seront montés en rangées disposées perpendiculairement au grand axe de la marquise, configuration dite transversale (figure 1), ou bien seront montés en rangées parallèles au grand-axe de la marquise, orienté côté ouest, configuration dite longitudinale (figure 2).

- 2) L'arrangement des modules doit laisser libre un passage central de 50 cm le long du grand axe et une distance minimum de 30 cm entre rangée pour les 2 configurations. Ce sont des configurations denses afin d'exploiter au maximum la surface disponible.
- 3) Pour la configuration transversale, les modules seront inclinés d'un angle faible, modules orientés en direction du sud. La valeur de cet angle dépend de la largeur des modules retenus. Pour la configuration longitudinale, l'angle d'inclinaison sera également faible et les modules orientés vers l'ouest.
- 4) L'angle d'inclinaison est choisi faible aussi pour minimiser l'impact visuel
- 5) Le champ PV travaillera en relativement haute tension continue, en 2 champs composés de secteurs à  $+ 380 \text{ V=}$  ou  $- 380 \text{ V=}$ , avec un point milieu
- 6) Une solution de mise à plat des modules est exclue, les problèmes techniques correspondants n'étant pas résolus.

Dans la modélisation employée pour comparer des configurations possibles, seul le rayonnement direct du soleil sur les modules est considéré. Il est pris comme constant, quelle que soit la hauteur du soleil sur l'horizon.

L'effet des ombres portées d'une rangée sur la suivante est calculé en supposant des rangées de longueur infinie. C'est-à-dire qu'en cas d'ombre portée, seule une bande basse parallèle à la rangée est obscurcie. Le rapport de la largeur éclairée sur la largeur du module donne une mesure de la perte par ombrage entre rangées. Pour obtenir une mesure proportionnelle à la contribution du soleil direct, il faut encore multiplier ce rapport par le cosinus de l'angle entre la normale et le vecteur soleil à l'heure de calcul.

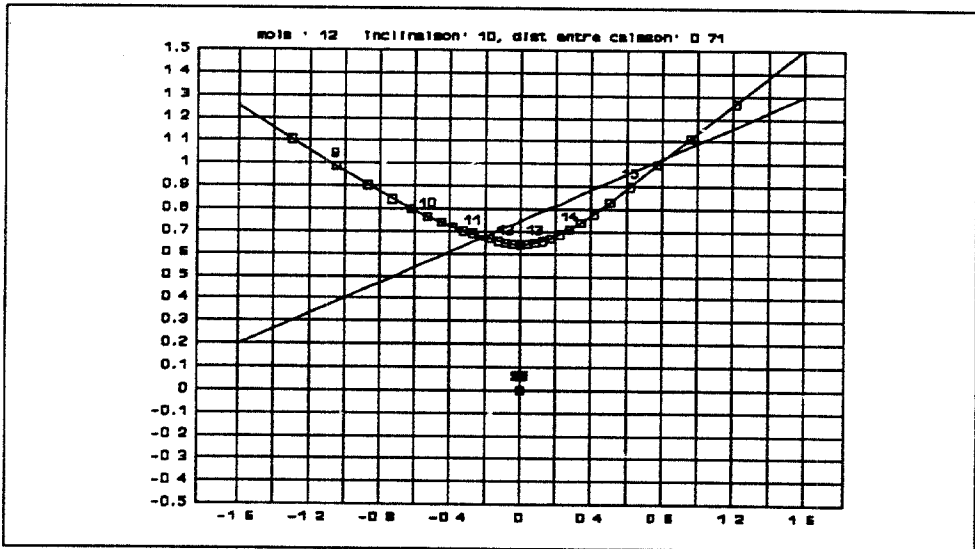
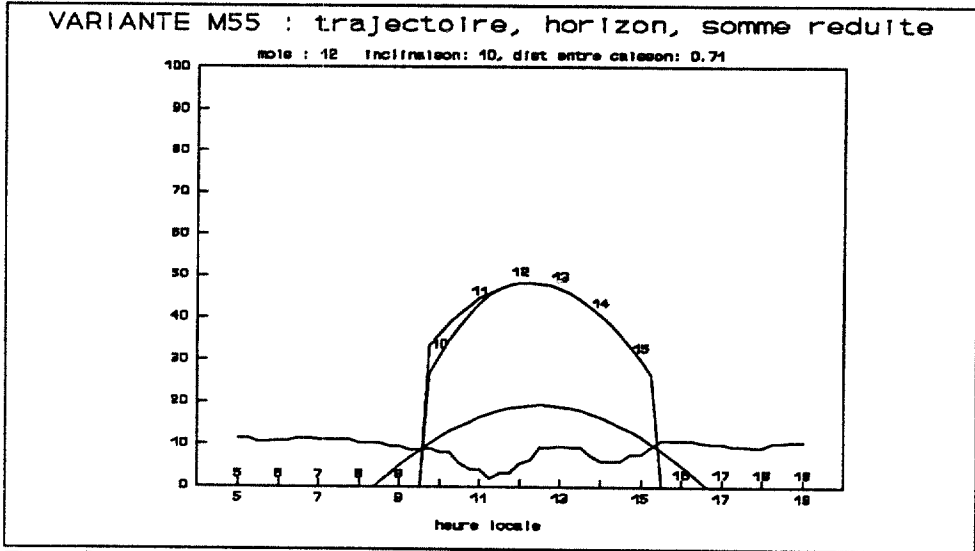
Les ombres portées sur la rangée suivante dépendent de la distance entre rangées et de l'inclinaison choisie pour les modules, paramètres principaux d'une configuration.

Les calculs sont effectués de 1/4 heure en 1/4 d'heure pour les 21 juin, 21 juillet, 21 août, 21 septembre, 21 octobre, 21 novembre et 21 décembre

Ces résultats journaliers sont sommés avec pour les mois de juin et décembre un poids de moitié : la somme ainsi obtenue est alors représentative de la production d'énergie demi-annuelle d'un module, les autres mois non pris en considération apportant une contribution identique.

L'horizon mesuré sur place est intégré dans les calculs effectués au moyen d'un tableur standard et ces calculs permettent de déterminer la perte par ombrage mutuel par rapport à une géométrie identique sans ombres mutuelles avec le même horizon local.

La figure 3 montre 4 courbes pour une configuration transversale au 21 décembre, à savoir depuis le haut: la courbe du cosinus de l'angle normale soleil, la courbe dite réduite déduite de la précédente en multipliant par le facteur de correction <1 dû aux ombres portées dans la configuration choisie, la trajectoire du soleil (angle au-dessus de l'horizon), l'horizon local pour la gare d'Aigle



Ces courbes sont données en fonction de l'heure sidérale locale, c'est-à-dire sans correction été-hiver.

La figure 4 donne la trajectoire (correspondante de la figure 3) de l'ombre portée projetée sur un plan horizontal. La droite inclinée représente le bord inférieur de la rangée suivante. L'axe vertical est l'axe Nord-Sud. La source d'ombre est placée au centre (coordonnées 0,0). La trajectoire de l'ombre portée est indexée par l'heure sidérale locale.

La somme des 7 surfaces englobées sous les courbes réduites calculées aux 7 dates retenues permet de comparer entre elles des configurations possibles et d'apprécier comparativement leur production énergétique pour la part directe du rayonnement. Un exemple de comparaisons entre différentes configurations constituées de modules identiques pour le site d'Aigle est donné en figure 5. Trois distances entre rangées sont représentées (36, 46 et 56 cm, de la gauche vers la droite), en configuration transversale (courbes du haut) et longitudinale, avec pour chaque distance un intervalle d'inclinaison entre  $0^\circ$  et  $40^\circ$  (de la droite vers la gauche). L'abscisse choisie est la périodicité entre rangée, qui dépend de l'inclinaison choisie, puisque définie comme la somme de la distance entre rangée et de la largeur projetée au sol des modules.

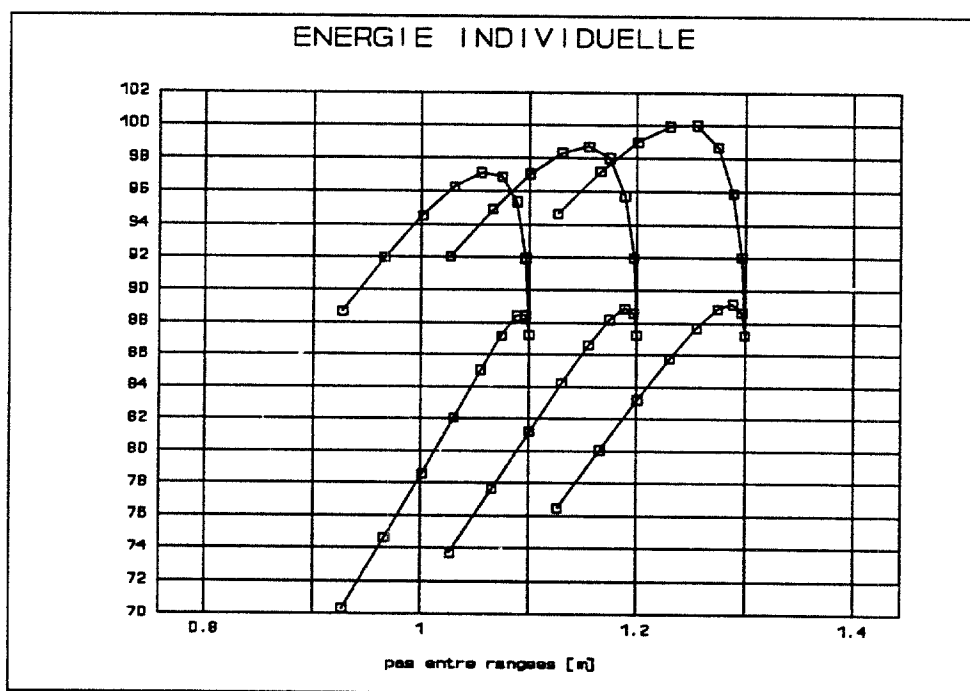


Figure n°5 : production d'énergie d'une rangée seule

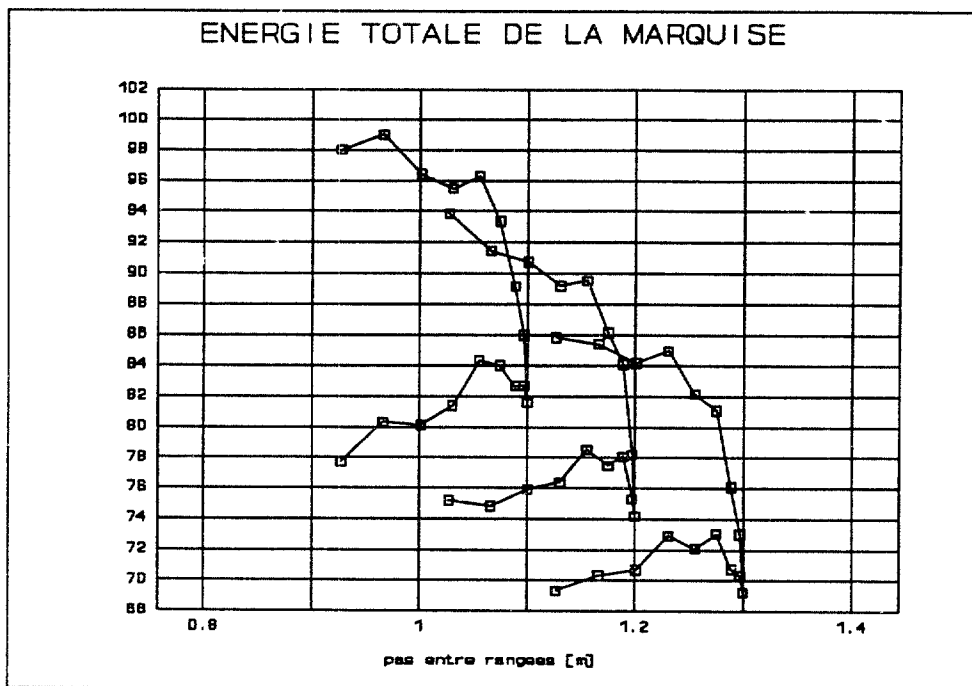


Figure n°6 : production d'énergie de toute la marquise

L'allure irrégulière des courbes de production énergétique totale de la figure 6 est due aux sauts du nombre de rangées sur une surface donnée lorsque l'inclinaison des modules varie.

Il apparaît que pour les configurations transversales et longitudinales, le passage entre une inclinaison de  $0^\circ$  à  $15^\circ$  augmente la production, tout en conservant un taux d'occupation de la surface utile quasi-constant. Pour des angles plus élevés, la perte d'énergie par ombre mutuelle commence à prendre de l'importance et finit par compenser totalement le gain obtenu par l'augmentation de l'angle d'inclinaison.

L'effet de modification de l'inclinaison est nettement plus marqué pour les configurations transversales.

### **3.Collaboration nationale**

Ces travaux ont été menés par Eionnard & Gardel SA en collaboration avec

- l'office de Coopération pour les Energies Renouvelables (COPER)
- le LESO de l'EPFL (Laboratoire d'énergie solaire)
- les CFF (Service des bâtiments du premier arrondissement).

### **4.Perspectives 1993**

Les phases suivantes de l'étude auront 2 objectifs: premièrement de poursuivre la réalisation d'installation pilote en Suisse, avec accent mis également sur une intégration de modules PV dans la couverture de nouvelles constructions et deuxièmement de préciser le potentiel de telles réalisations dans les arrondissements II et III des CFF.

### **5.Rapport à l'OFEN**

Le travail présenté ici a fait l'objet d'un dossier d'appel d'offres accompagné d'un mémoire technique "IDEES GUIDES DU CHOIX DES CONFIGURATIONS DU CHAMP PV SUR LES MARQUISES DE QUAIS DE GARE CFF", ainsi que d'un rapport d'analyse des offres, remis à l'OFEN en novembre 1992.

EINGEGANGEN 17. Feb. 1993.