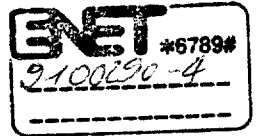


CORIE



OPTIMISATION DE LA SURFACE DU CHAMP PHOTOVOLTAIQUE MESURES ET VALIDATION DE LA SIMULATION

P. AFFOLTER
Bâtiment LESO
EPFL
CH-1015 LAUSANNE

L. KELLER
Bureau d'Etudes Keller & Zahn
Ch. du Renolly
CH- 1175 LAVIGNY

RESUME

Parce qu'ils sont souvent mal dimensionnés, la plupart des systèmes photovoltaïques couplés au réseau exploitent mal la capacité du convertisseur statique. Cela a pour conséquence une efficacité réduite et un renchérissement du coût de production.

Le présent projet a pour objectifs:

- de démontrer que dans la pratique un tel surdimensionnement ne pose pas de problème technique
- de mettre en évidence les effets sur l'efficacité et sur la rentabilité

Les simulations effectuées dans une phase précédente ont montré que la meilleure rentabilité était atteinte avec une puissance des cellules surdimensionnée de 40% par rapport à la puissance nominale du convertisseur statique.

La validation de ces résultats a été faite sur une installation située à Herdern, près de Zurich et une autre validation est en cours à Lausanne. Les premiers résultats obtenus sont présentés dans la présente publication.

ABSTRACT

Due to incorrect dimensioning, most photovoltaic systems connected to the grid do not make good use of the static inverter's capacity, the consequences being reduced efficiency and higher production costs.

This project aims:

- to prove that oversizing causes no technical problems
- to show the effects of oversizing on efficiency and financial viability.

Simulations done during a previous phase have shown that best economical results are obtained by a 40% oversizing of the panel area in relation to the inverter nominal power.

These results have been validated on an installation in Herdern, near Zurich and another validation is under way in Lausanne. This publication presents the first results obtained.

1. INTRODUCTION

Dans une phase précédente du travail [1,2,3] nous avons montré qu'une utilisation optimale du convertisseur statique impliquait un surdimensionnement du générateur solaire d'au moins 40%, et qu'il existait un optimum économique qui, dans le cas de convertisseurs à limitation était relativement plat. L'outil développé lors de ce travail permettait de dimensionner une installation photovoltaïque de manière à obtenir le prix de revient de l'énergie le plus bas possible (cf. fig. 1).

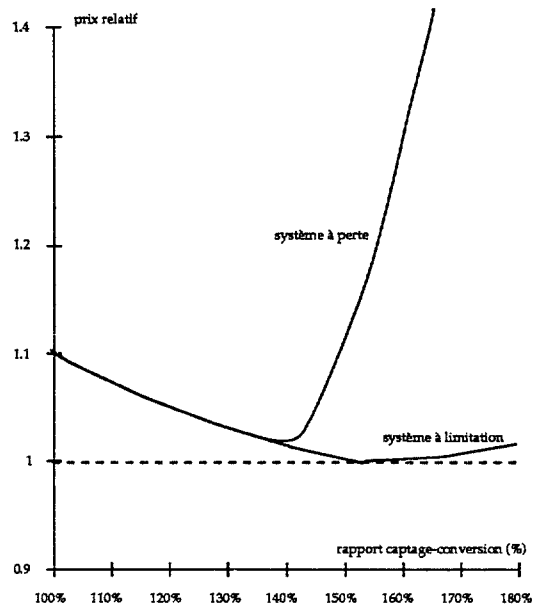


Fig. 1: prix de l'énergie en fonction du rapport captage-conversion

Par la suite nous avons entrepris une validation de notre modèle sur deux installations, l'une située à Herdern (Zurich) et l'autre à l'EPFL (Lausanne). La validation sur le site de Herdern est terminée, et fait l'objet de la présente publication. Quant à la validation sur le site de Lausanne, elle est encore en cours, d'importants retards ayant été provoqués par la livraison, à plusieurs reprises repoussée, du convertisseur d'un nouveau type utilisé sur ce site. Les principales caractéristiques des installations mesurées sont données au tableau 1. On constate que sur le site de Herdern le surdimensionnement n'est pas très important, ce qui est dû au fait que nous n'avons pas pu trop surcharger les convertisseurs installés qui étaient d'un ancien type. Par contre dans le cas de l'EPFL, on constate qu'une des installations est surdimensionnée de 70%, point qui se situe, d'après notre modèle, au-delà de l'optimum économique; dans ce cas le convertisseur est mis à rude épreuve!

installation	Herd.1	Herd. 2	Herd. 3	EPFL 1	EPFL 2	EPFL 3
puissance (kW)	3.36	3.85	4.36	2.4	4.0	5.6
captage/conversion (%)	102	117	132	73	121	170

Tableau 1: caractéristiques principales des installations de Herdern et de l'EPFL

2. INSTALLATION DE HERDERN (ZH)

2.1 Description de l'installation

L'installation photovoltaïque de Herdern appartient aux services industriels de la ville de Zurich et est composée de 6 installations munies de convertisseurs de 3,3 kW. Cette installation, mise en service en automne 89, a fait l'objet d'une campagne de mesures menée par le bureau Alpha Real [4].

2.2 Modification des champs de cellules

Ces mesures ont montré que la puissance réelle correspondait seulement au 91% de la puissance nominale indiquée par le fabricant.

Suite à cette observation le fabricant a fourni gratuitement 36 panneaux supplémentaires. Ceux-ci ont été utilisés dans notre étude afin d'augmenter la puissance de certains champs mesurés.

groupe no	1	2	3	4	5	6	total
nb. de modules	72	84	96	72	72	72	468
puissance STC réelle (kW)	3.36	3.85	4.36	3.24	3.19	3.09	21.09
captage/conversion (%)	102	117	132	98	97	94	107

Tableau 2 : Caractéristiques de l'installation modifiée; en gras les groupes faisant l'objet de notre étude.

2.3 Modification des convertisseurs statiques

Le convertisseur doit se déclencher en cas de dépassement de certaines valeurs limites pouvant conduire à des dégâts à l'appareil, à savoir la tension au point d'injection (max. 242 V.AC), le courant de sortie(max.18A (AC)) ainsi que la température du radiateur intérieur (max. 80°C).

Si une de ces valeurs limites est dépassée, le convertisseur s'arrête immédiatement. Après un laps de temps d'environ 1 minute, il redémarre. Si les valeurs limites sont de nouveau atteintes, l'appareil s'arrête et attend à nouveau. Ce cycle peut se dérouler 4 fois au maximum. Si les valeurs limites sont toujours dépassées après 4 essais, l'appareil se met en stand-by en attendant:

- que la tension des panneaux s'annule (lors du crépuscule, par exemple),
- ou que l'interrupteur principal soit manipulé.

Avec une telle régulation tout arrêt du système conduit à sa mise hors service pour une période qui peut aller jusqu'à une journée. On comprend dès lors pourquoi les champs de capteurs liés à un tel convertisseur ont été généralement sous-dimensionnés.

Afin de remédier à ces inconvénients, les convertisseurs ont été reprogrammés afin de contrôler, et au besoin de limiter, leur puissance d'entrée.

3. RESULTATS DES MESURES

3.1 Production journalière d'énergie

L'observation des profils journaliers et des valeurs journalières permet, sur la base de quelques journées significatives, de tirer les conclusions suivantes en relation avec le surdimensionnement du champ de captage.

1. On n'observe pas d'effet de saturation, même dans le cas du surdimensionnement maximum : soit un champ de 4.36 kW pour un onduleur de 3.3 kW (surdimensionnement de 32%).
2. Du point de vue de la production d'énergie, l'effet de seuil est négligeable.
3. L'efficacité de l'onduleur varie très fortement en fonction de la charge : elle augmente sensiblement de 50 à 500 W, elle est maximale pour une puissance de 1 kW puis elle diminue faiblement au-dessus de cette valeur.

3.2 Production mensuelle et annuelle d'énergie

Le tableau 3 donne un résumé mensuel des principales mesures, ainsi que de l'ensoleillement incident.

Les zones tramées correspondent aux mois durant lesquels le surdimensionnement a un effet positif au niveau de la production d'énergie.

Il est à remarquer que cet effet se manifeste durant les mois d'hiver contribuant ainsi à diminuer l'asymétrie été-hiver.

Annuellement, le gain ne se situe pas au niveau de l'énergie (pas de gain pour le groupe 2, légère perte pour le groupe 3) mais au niveau économique, comme nous le verrons plus loin.

Mois	Ensoleillement (kWh/m2)	Groupe de Référence (102%)		Groupe No. 2 (117%)		Groupe No. 3 (132%)	
		Production AC (kWh)	Production relative	Production AC (kWh)	Production relative	Production AC (kWh)	Production relative
nov.91	36.5	96	102%	114	122%	126	135%
déc.91	29.9	73	102%	88	123%	96	134%
jan.92	45	121	102%	143	121%	157	132%
fév.92	70	179	102%	212	121%	234	133%
mar.92	9308	262	102%	303	118%	339	132%
avr.92	123.2	338	102%	391	118%	434	131%
mai.92	159.9	428	102%	484	115%	536	128%
jui.92	142.5	389	102%	443	116%	491	129%
jui.92	161.4	438	102%	493	115%	547	127%
aoû.92	162.8	450	102%	507	115%	560	127%
sep.92	116.4	316	102%	362	117%	403	130%
oct.92	44.8	125	102%	114	118%	163	133%
Total	1186	3215	102%	3654	117%	4086	130%

Tableau 3 : Récapitulation des productions AC mensuelles avec valeurs relatives.

4. COMPARAISON SIMULATION-MESURES

4.1 Calcul de base

Les calculs effectués lors des précédents projets [1], [2] ont été repris avec comme nouvelles données :

- l'efficacité mesurée des onduleurs (moyenne des 6 groupes)
- l'ensoleillement mesuré à Herdern
- les données économiques suivantes, basées sur le prix réel des installations réalisées en 1992:

Coût fixe	Coût proportionnel	Total pour 27,5 m ² /3 kW S.T.C.
[FS]	[FS/m ²]	[FS]
12'400.-	1'190.-	45'125.-

Tableau 4: données économiques de base

La figure 2 donne les résultats des simulations effectuées.

On constate un bon parallélisme entre les courbes calculées et mesurées, bien que le prix de revient mesuré soit inférieur au prix de revient calculé, ce qui provient probablement d'une légère sous-estimation du rendement des convertisseurs, suite à des mesures du courant DC pas très précises.

La courbe intitulée "classes annuelles" a été tracée en remplaçant les données météorologiques mensuelles par des données annuelles. Ce calcul montre qu'un dimensionnement peut se faire avec une seule distribution annuelle de l'ensoleillement.

La courbe intitulée "onduleur meilleur" résulte du seul changement du type d'onduleur par rapport au calcul de base. Avec un meilleur onduleur, l'énergie est environ 10% meilleur marché. La position de l'optimum n'a quasiment pas bougé. Le dernier calcul a été fait avec une des données météorologiques de Genève, données issues de [5] .

Cette série de simulations montre que l'optimisation du rapport captage-conversion peut se faire, quelles que soient les performances de l'onduleur ou la quantité d'énergie solaire disponible.

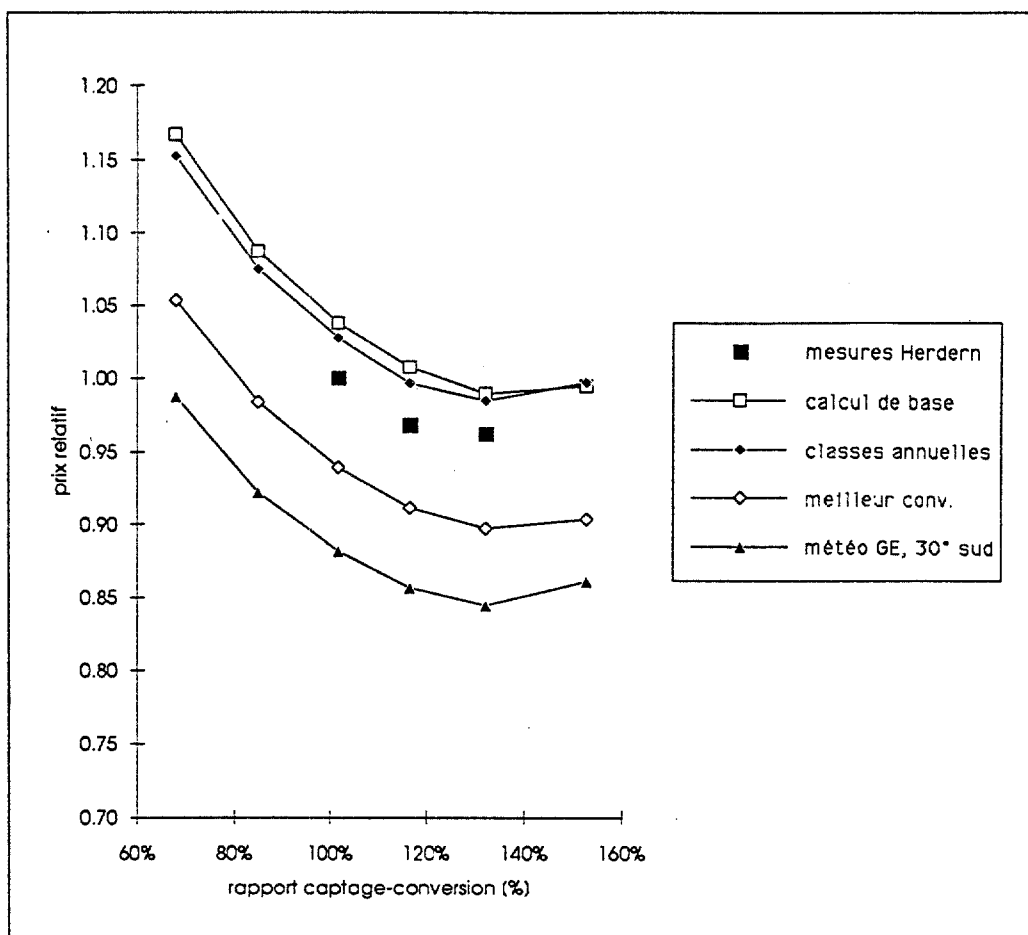


Figure 2 : Simulation à posteriori.

4.2 Sensibilité de l'optimum aux données économiques

En ce qui concerne l'évolution du prix des composants, il est fortement probable que le prix des modules PV continue à baisser, alors que l'électronique de puissance risque peu de descendre au-dessous de Frs. 1.-/W pour des installations dans la gamme des 10 - 100 kW.

Si la baisse des prix est beaucoup plus importante pour les modules que pour le convertisseur statique, alors dimensionner selon le rapport captage-conversion optimal se justifiera toujours plus.

Ainsi, avec les prix actuels, dimensionner à 120% plutôt qu'à 80% permet de diminuer le prix de revient de 10%, alors que si les modules photovoltaïques coûtent Fr. 2.-/W, le même surdimensionnement entraîne une réduction du prix de revient de 15%.

5. CONCLUSIONS

Les mesures effectuées confirment le modèle théorique précédemment établi. Il est remarquable de constater qu'avec un surdimensionnement du champ des cellules photovoltaïques de 32%, on n'atteint jamais la puissance nominale de l'onduleur, ce qui est dû à la baisse du rendement des cellules avec l'élévation de la température.

La validation effectuée à l'EPFL nous apportera des enseignements supplémentaires, car l'un des champs de cellules est surdimensionné de 70% et la puissance fournie par les cellules a souvent dépassé la puissance nominale du convertisseur.

En tous les cas, on peut d'ores et déjà conclure qu'un surdimensionnement de l'ordre de 40% est toujours justifié, et le sera encore plus à l'avenir si le prix des cellules baisse.

REMERCIEMENTS

Nous aimerions profiter de cette occasion pour remercier l'Office Fédéral de l'Energie pour le mandat qu'il nous a confié, ainsi que toutes les personnes nous ayant aidé par des discussions et des échanges d'idées fructueux.

REFERENCES

- 4 / [1] P. Affolter / L. Keller, Bureau d'Etudes Keller-Burnier,
"Optimisation de la surface des panneaux photovoltaïques en fonction
du convertisseur statique", OFEN 1990.
- 2 / [2] P. Affolter / L. Keller, Bureau d'Etudes Keller-Burnier,
"Optimisation saisonnière de la surface des panneaux dans une
installation photovoltaïque", OFEN 1991
- [3] P. Affolter / L. Keller, Bureau d'Etudes Keller-Burnier,
"Optimisation de la surface des panneaux photovoltaïques en fonction
du convertisseur statique", Energie im Hochbau, Zurich 1992
- [4] Schussbericht zum Messprojekt Solarzellenanlage Herdern,
Messperiode August 1990 - Juli 1992.
R. Moser, Alpha-Real AG, Zürich, Dezember 1992.
- [5] A.M. Felkel / J.-M. Gremaud / O. Guisan / P. Ineichen / A. Mermoud
"Mesures d'ensoleillement à Genève du 01.07.78 au 30.06.79".