



Appoint électrique et prévision météo

Briac Piriou, Arnaud Pascal, François-Pascal Neirac, Patrick Gatt

► **To cite this version:**

Briac Piriou, Arnaud Pascal, François-Pascal Neirac, Patrick Gatt. Appoint électrique et prévision météo. CVC - La Revue des Climaticiens, 2013, Juillet-octobre (880), pp.7-9. hal-00878410

HAL Id: hal-00878410

<https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-00878410>

Submitted on 7 Nov 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Appoint électrique et prévision météo

Modèle de référence

Modèle prévision météo parfaite

Modèle prévision météo plus réaliste

Par Briac Piriou, Arnaud Pascal, François Pascal Neirac, Patrick Gatt, Mines Paristech, Centre Procédés, Energies Renouvelables et Systèmes Energétiques

Les capteurs solaires à appoint électrique permettent d'assurer l'approvisionnement en eau chaude sanitaire, l'appoint solaire couvrant entre 50 et 90 % des besoins. Notre étude vise à réduire la part de l'appoint électrique en intégrant des prévisions météo dans son asservissement.

Un chauffe-eau solaire avec appoint électrique fonctionne selon le fonctionnement suivant. Le capteur solaire thermique permet de récupérer sous forme de chaleur le rayonnement du soleil grâce à un absorbeur. Un fluide caloporteur se réchauffe au contact de l'absorbeur, circule dans le circuit primaire et passe dans un échangeur dans le bas du ballon de stockage pour réchauffer l'eau froide. Le fluide refroidi lors de l'échange thermique repart ensuite vers le capteur pour être à nouveau réchauffé. Un système d'appoint électrique permet de palier au manque de soleil grâce à une résistance électrique située en haut du ballon. L'appoint est régulé par un thermostat permettant le réchauffement du ballon pendant la nuit en cas de manque d'énergie solaire. Le principe du contrôle intelligent est de mettre en place une régulation plus fine sur l'appoint électrique en prenant en compte les prévisions météorologiques.

Modèle de référence

> Explications individuelles des formules

Le ballon est modélisé comme une réserve d'énergie thermique. Les calculs sont faits heure par heure sur l'énergie thermique contenue dans le ballon :

$$Eb(h) = Eb(h-1) + E_{\text{appoint}}(h) + E_{\text{olaire}}(h) - P(h) - S(h) \quad (1)$$

où h est l'heure considérée, E_b est l'éner-

gie du ballon, P les pertes, S les soutirages, E_{appoint} l'énergie apportée par la résistance électrique d'appoint, E_{olaire} l'énergie apportée par le capteur solaire.

Pour calculer l'énergie apportée par le soleil nous utilisons la formule du rendement suivante définie par la norme EN 12975-2 (nous prenons un capteur solaire de type Giordano C8s) [3] :

$$\eta(h) = \eta_0 - a_1 T_m(h) - Ta(h) Eng - a_2 Eng_{\text{std}} T_m(h) - Ta(h) Eng^2 \quad (2)$$

où η_0 est le coefficient optique du capteur Giordano c8s, a_1 et a_2 sont respectivement les coefficients d'ordre 1 et 2 du même capteur, T_m la température moyenne du capteur ($T_m = T_{\text{entrée}} + T_{\text{sortie}}/2$), $T_{\text{entrée}}$ la température en entrée du capteur (sortie du ballon), T_{sortie} la température en sortie du capteur (entrée du ballon), T_a la température ambiante, Eng l'ensoleillement global sur le plan du capteur et Eng_{std} un ensoleillement standard conformément à la norme EN 12975-2.

Nous avons une relation simple entre la température du ballon et l'énergie qu'il contient car nous considérons que cette énergie correspond à l'énergie qu'il faut apporter pour élever la température de l'eau depuis la température ambiante jusqu'à la température de l'eau du ballon. On obtient donc la relation suivante :

$$T_{\text{ballon}}(h) = E_b(h) * 1Cp * V * \rho + Teau_{\text{froide}}(h) \quad (3)$$

où C_p est la capacité calorifique de l'eau, V le volume du ballon et ρ la masse volumique de l'eau.

La température d'entrée dans le capteur est égale à la température de l'eau dans le ballon car dans notre modélisation en énergie, la température dans le ballon est homogène :

$$T_{\text{ballon}}(h) = T_{\text{entrée}}(h) \quad (4)$$

Les pertes sont modélisées par un coefficient de perte $K = 0,6 \text{ Wh}/(\text{L.K})$.

Nous supposons alors que l'appoint électrique est réglé pour arriver à une énergie dans le ballon équivalente à 300 l à 50 °C en fin de nuit. Cela correspond à la régulation la plus simple possible sous forme de thermostat.

Les soutirages sont modélisés de telle sorte qu'un quart de l'énergie du ballon est soutirée aléatoirement entre 6h et 9h et un autre quart entre 19h et 22h, toujours de manière aléatoire sur 3h [3]. Considérer les soutirages par rapport à l'énergie contenue dans le ballon permet d'inclure une saisonnalité puisque cette dernière est calculée par rapport à la température ambiante qui dépend de la saison. Il y aura donc moins d'énergie prélevée en été. De plus, une quantité aléatoire, bornée à 20 % de l'énergie prélevée, est ajoutée ou retirée à la quantité totale du soutirage. Cela permet d'ajouter une part d'incertitude. Ces soutirages sont les mêmes pour tous les modèles afin de comparer les performances.

Les données météo utilisées sont celles de la ville de Nice pour l'année 2007. L'ensoleillement est ensuite ramené dans le plan du capteur pour être utilisé dans la formule (2).

► Processus itératif

Nous avons donc quatre formules principales qui forment un système d'équations :

$$E_{bh} = E_{bh-1} + E_{appointh} + E_{solaireh} - Ph - Sh \quad (1)$$

$$\eta(h) = \eta_0 - a_1 T_m(h) - Ta(h)Eng - a_2 Eng^2 T_m(h) - Ta(h)Eng^2 \quad (2)$$

$$T_{entréeh} = E_{bh} * 1Cp * V * \rho + Ta(h) \quad (3, 4)$$

$$T_{sortieh} = T_{entréeh} + E_{solaireh} * 1Cp * V * \rho \quad (5)$$

Ces variables étant interdépendantes, il est difficile de passer simplement de l'état h à l'état $h+1$. Nous avons choisi d'appliquer un système itératif avec une initialisation jusqu'à convergence des valeurs obtenues par ces équations. Il faut cependant savoir dans quel ordre appliquer ces formules.

Nous avons raisonné en fonction des temps caractéristiques de chacune des modifications. Ainsi nous commençons chaque heure par soustraire les soutirages car ce sont les modifications les plus rapides. Nous utilisons pour cela la formule (1) de façon partielle. Ensuite nous pouvons calculer la nouvelle température du ballon à partir de la nouvelle valeur de son énergie (3, 4). Cela nous permet de calculer le nouveau rendement avec cette nouvelle valeur de $T_{entrée}$ et l'ancienne valeur de T_{sortie} (2). Cette nouvelle valeur du rendement permet alors de calculer la nouvelle valeur de T_{sortie} (5). On peut enfin déduire les pertes et ajouter l'apport solaire (1). Ces premières étapes constituent l'initialisation. Le processus itératif consiste à appliquer successivement (3, 4) puis (2) puis (5) jusqu'à convergence.

Modèle prévision météo parfaite

Nous pouvons maintenant nous intéresser au gain envisageable grâce à la connaissance des prévisions météo ^[4]. Dans un premier temps, nous supposons une connaissance parfaite de la météo. Comme on peut le voir sur la ► **Figure 1**, il est assez fréquent de ne pas avoir utilisé entièrement l'énergie du ballon en fin de journée. On appelle Δ l'écart entre le plus bas niveau d'énergie de la journée et le niveau de consigne en dessous duquel

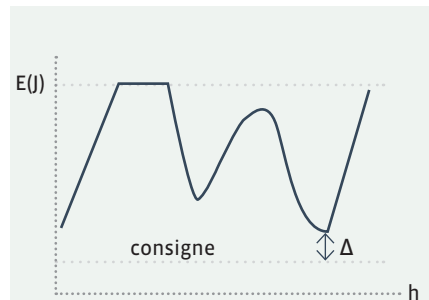


Figure 1 Marge (Δ) par rapport à la consigne, déductible de l'appoint électrique.

il ne faut pas descendre. En anticipant l'apport solaire du jour suivant, on peut calculer à l'avance le Δ d'énergie qu'il restera si l'on utilise l'appoint électrique en scénario de référence. Ce Δ d'énergie peut alors être retranché de l'énergie à fournir par l'appoint électrique. Ici se trouve une première source d'économie cependant l'analyse ne s'arrête pas là. En effet, comme l'on aura moins chauffé l'eau durant la nuit, le capteur solaire en verra son rendement (formule (2)) augmenté, le rendement étant une fonction décroissante de la température de l'eau dans le capteur (T_m). On obtient alors un nouveau Δ qui peut à son tour être

retranché de l'appoint électrique. Il faut répéter cette opération jusqu'à avoir un delta nul. Le gain réalisé est alors maximal. Nous présentons dans la ► **Figure 2** les résultats obtenus grâce à l'intégration des prévisions météorologiques. Nous pouvons voir ici que les gains peuvent être très importants. En effet, l'appoint électrique n'a presque pas été utilisé dans cet exemple.

Modèle prévision météo plus réaliste

Les résultats précédents bien que très bons ne sont pas réalistes dans le sens où il est difficile d'avoir accès à une prévision parfaite de l'ensoleillement. Nous supposons donc ici que nous n'avons connaissance que d'une prévision journalière indiquant dans quelle situation nous nous trouverons parmi les quatre suivantes : Beau temps, Ciel Couvert, Temps Pluvieux, Temps Orageux ^{[2][5][6]}. Nous reconstruisons alors la courbe d'ensoleillement heure par heure à partir de cette donnée et de la date. Pour ce faire, nous établissons la courbe d'ensoleillement journalier corrigé de la météo, c'est-à-dire uniquement par

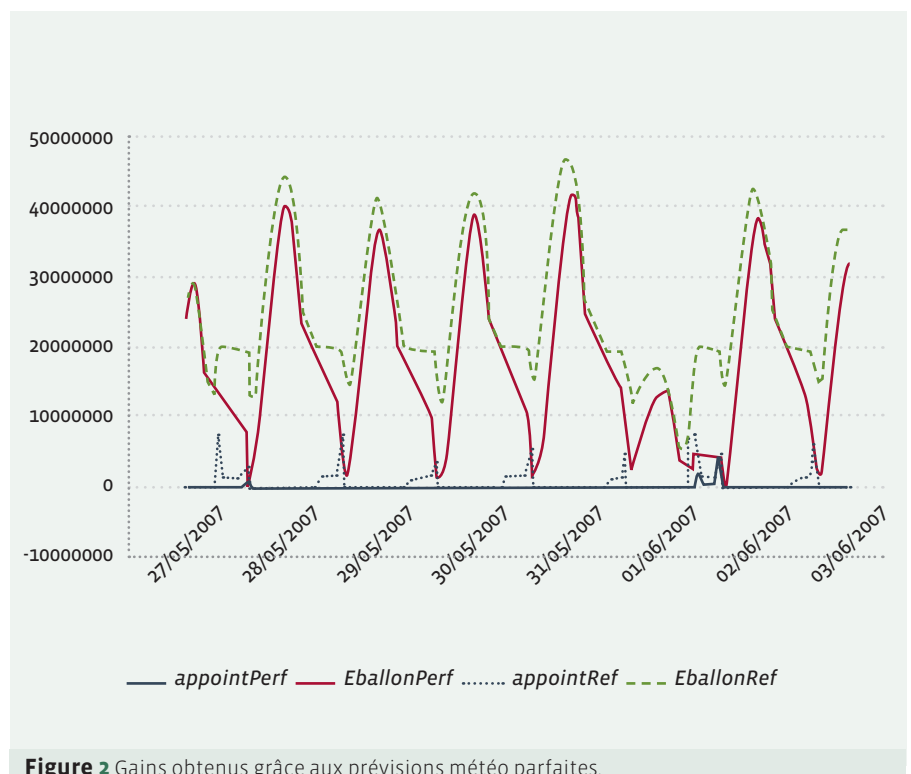


Figure 2 Gains obtenus grâce aux prévisions météo parfaites.

beau temps (Clear Sky model) [7] [8]. Nous définissons quatre zones correspondant aux quatre catégories de météo et pouvons estimer l'ensoleillement de la journée en connaissant uniquement la date et la prévision météo. Nous reconstruisons ensuite l'ensoleillement heure par heure en multipliant les différentes composantes horaires d'un pic d'ensoleillement type du mois courant par un coefficient permettant ainsi à ce pic déformé d'avoir la valeur prévue d'ensoleillement totale sur la journée. Cette construction est résumée par la > **Figure 3**.

Les résultats obtenus en intégrant cette prévision météo ne s'éloignent pas beaucoup de ceux de la prévision parfaite. La > **Tableau 1** résume les résultats ainsi que les économies obtenues.

En prenant un prix de 120 € par MWh pour un ménage ayant une consommation moyenne, le dispositif permet de réaliser 240 € d'économies chaque année, à comparer avec le prix d'un tel dispositif, estimé à 200 €. ■ xx-xx

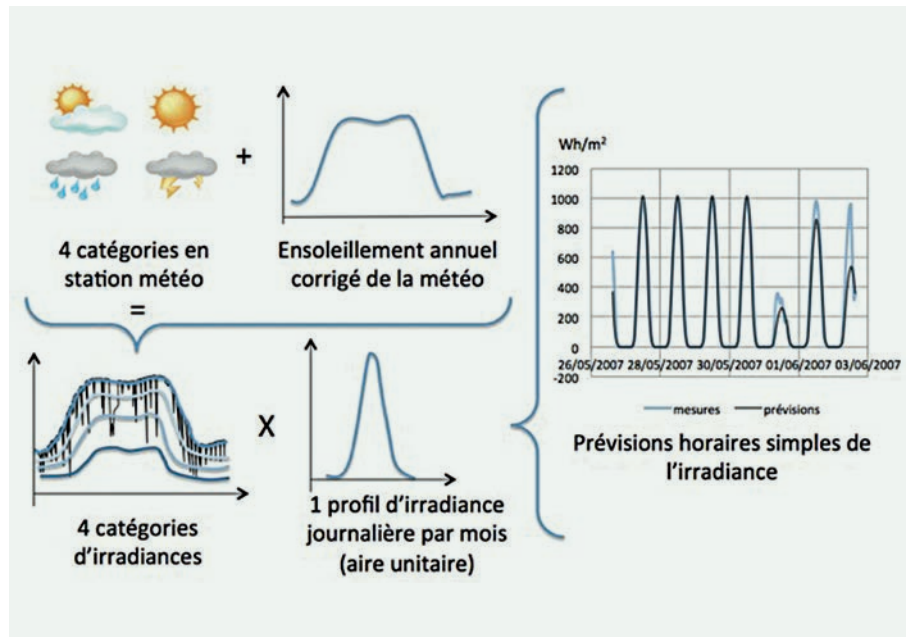


Figure 3 Principe de construction des prévisions horaires réelles.

Tableau 1 Détails des résultats pour les différents modèles

	η	$E_{\text{appoint}} (10^9 \text{ J})$	Économie (kWh)	Économies annuelles* (€)
Référence	0,53	10,3	0	0
SCP	0,63	2,8	2080	250
SCR	0,62	3,2	1970	236

SCP : Smart-Control avec prévisions parfaites
 SCR : Smart-Control avec prévisions réalistes
 * 120 € / MWh

Bibliographie

[1] Abdunnabi, M.J.R. "Effect of hot water load patterns on the design parameters of thermosyphon solar water heaters." IEEE, 2009.

[2] Ching-Tsan Chiang, Yung-Sheng Lee and Xiao Ru Li and Chiung-Chou Liao. "A RSCMAC Based Forecasting for Solar Irradiance from Local Weather Information." WCCI 2012 IEEE World Congress on Computational Intelligence, 2012.

[3] ISO. Norme européenne EN 12975-2. UE, ISO - EN.

[4] Kousuke Uchida, Tomonobu Senjyu, Naomitsu Urasaki and Atsushi Yona. "Installation Effect by Solar Heater System using Solar Radiation Forecasting." IEEE, 2009.

[5] Lucio Ciabattoni, Gianluca Ippoliti and Sauro Longhi, Matteo Cavalletti and Marco Rocchetti. "Solar Irradiation

Forecasting using RBF Networks for PV Systems with Storage." IEEE, 2012.

[6] Lucio Ciabattoni, Massimo Grisostomi, Gianluca Ippoliti, Sauro Longhi, and Emanuele Mainardi. "On Line Solar Irradiation Forecasting by Minimal Resource Allocating Networks." 20th Mediterranean Conference on Control & Automation, 2012.

[7] Peder Bacher, Henrik Madsen, Bengt Perers, Henrik Aalborg Nielsen. "A non-parametric method for correction of global radiation observations." Accepted 30 October 2012. Communicated by: Associate Editor David Renne

[8] Peder Bacher, Henrik Madsen, Henrik Aalborg Nielsen. "Online short-term solar power forecasting" Communicated by: Associate Editor Frank Vignola. Solar Energy 83 (2009) 1772-1783