Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 75 (1984)

Heft: 4

Artikel: La biéenergie : les courbes de charge : les bilans de substitution

Autor: Lanore, D. / Delpech, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904359

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.12.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

2.21 ✓
2.24 ✓

La biénergie – Les courbes de charge – Les bilans de substitution

D. Lanore et B. Delpech

La biénergie consiste à associer deux énergies, l'une étant stockable, l'autre ne l'étant pas, dont les complémentarités contribuent à optimiser pour l'utilisateur et pour la collectivité le coût de la satisfaction d'un besoin. Après avoir introduit le concept de biénergie, on définit les deux principaux domaines d'application de la biénergie. On s'intéresse, ensuite, à montrer l'intérêt du producteur d'électricité à développer raisonnablement de tels systèmes, quant à l'utilisateur, il sera sensible au prix de l'énergie, dans la mesure où le producteur traduira en terme de tarif les gains induits par le développement des techniques biénergie sur les coûts de gestion du système électrique.

Das Prinzip der Bivalenz besteht darin, zwei Energieträger, von denen der eine lagerbar ist und der andere nicht, so zu verbinden, dass sie sich gegenseitig ergänzen und sowohl für den Verbraucher als auch für die Allgemeinheit zu den günstigsten Kosten für die Befriedigung eines Bedürfnisses führen. Nach Vorstellung des Konzeptes bivalenter Anlagen werden die beiden Hauptanwendungsgebiete definiert. Es wird sodann das Interesse des Stromproduzenten aufgezeigt, solche Systeme zweckmässig zu entwickeln, sowie des auf den Energiepreis achtenden Verbrauchers in dem Masse, als der Produzent die aus der Entwicklung Einführung der bivalenten Technik gewonnenen Kostenvorteile bei der Stromversorgung im Tarif weitergibt.

Adresse des auteurs
D. Lanore et *B. Delpech*, Electricité de France, Service des Etudes Economiques Générales, 2, rue Louis-Murat, F-75384 Paris

1. Les applications de la biénergie

Le souci du producteur et du distributeur d'électricité est de tout faire pour juguler les déformations trop accentuées de la courbe de charge. Mais loin d'agir en freinant le développement d'usages existants, il choisit de favoriser la promotion d'usages contremodulés.

Dans le passé, la courbe de charge électrique française était caractérisée par une forte modulation journalière. Electricité de France a alors contribué au développement d'usages d'heures creuses (la nuit) et en particulier de l'eau chaude sanitaire à accumulation. La figure n° 1 montre l'évolution des coefficients de modulation journalière dont a été responsable en grande partie le développement de l'eau chaude à accumulation.

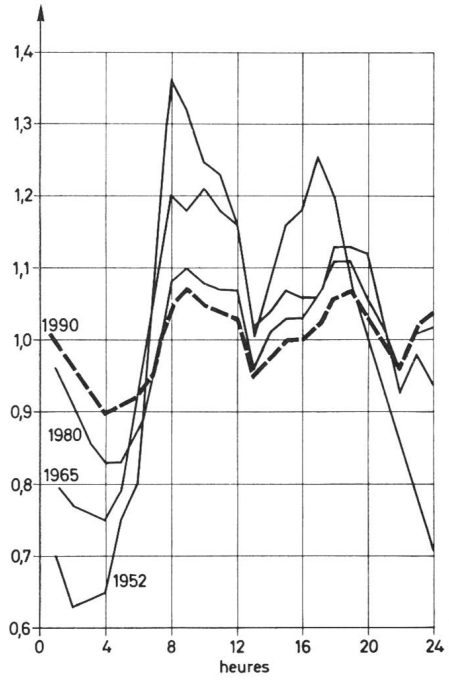

Fig. 1 Coefficient de modulation journalière

Aujourd'hui, et plus encore dans les prochaines années, la courbe de charge se caractérise par une modulation saisonnière. Ceci, traduit dans les tarifs, a conduit l'Etablissement à afficher des prix d'heures creuses hiver plus élevés que ceux des heures pleines d'été.

Enfin, constatant que les heures les plus chargées de la monotone annuelle sont de plus en plus concentrées sur un nombre réduit de jours d'hiver (les jours les plus froids) il a été jugé opportun de créer un tarif particulier pour les clients susceptibles de s'effacer durant ces journées chargées (option tarifaire «effacement Jour de Pointe»).

1.1 La biénergie d'été

L'apparition d'une modulation saisonnière prononcée a incité l'Etablissement à promouvoir des utilisations de l'électricité pendant l'été. Comme les usages saisonniers sont rares, il est envisagé de substituer, pendant l'été, l'électricité à un combustible pour assurer la satisfaction d'un besoin annuel. Pendant l'hiver, l'installation existante (utilisant un combustible) fonctionne seule.

Les deux principales applications sont:
- la production d'eau chaude sanitaire en été dans les secteurs résidentiel et tertiaire,
- la production de vapeur en été par chaudières électriques dans le secteur industriel.

1.2 La biénergie de chauffage

Le principe consiste à associer une pompe à chaleur électrique à une chaudière à combustible existante. La pompe à chaleur fonctionne seule ou avec l'appoint de la chaudière pendant presque toute la période de chauffe. La pompe à chaleur est arrêtée pendant une vingtaine de jours par an, la chau-

dière assurant alors seule la couverture des besoins de chauffage. Un tel système peut s'appliquer au secteur résidentiel comme au secteur tertiaire.

2. Influence de la biénergie sur le système électrique

2.1 Cas de la biénergie d'été

Comme il a déjà été dit précédemment, la courbe de charge hors biénergie d'été présente un caractère de modulation saisonnière. Le principe est donc de «remplir le creux d'été».

Afin de stigmatiser le caractère d'usage contremodulé de la biénergie d'été, on calcule le facteur annuel de charge pour les années 1990/91 et 1995/96 avec différentes hypothèses de pénétration de la biénergie d'été.

On détermine ainsi une amélioration substantielle de ce critère. C'est ainsi que, quelque soit l'année considérée, la durée d'appel de la puissance maximum peut être allongée d'environ 200 heures (cf. tab. I).

Durée d'appel de la puissance maximum facteur annuel de charge Tableau I

	Durée d'appel de la puissance en heures	Facteur annuel de charge
1990/91		
Scénarios[1])		
0 TWh	5463	0,624
5 TWh	5531	0,631
10 TWh	5598	0,639
15 TWh	5661	0,646
1995/96		
Scénarios[1])		
0 TWh	5421	0,619
5 TWh	5479	0,625
10 TWh	5535	0,632
15 TWh	5589	0,638
20 TWh	5639	0,644

[1]) Les scénarios sont identifiés par la consommation de biénergie d'été.

Avec les mêmes hypothèses de pénétration, on peut tracer l'évolution des puissances réduites hebdomadaires (coefficients de modulation saisonnière). Les résultats concernant les années 1990/91 et 1995/96 étant fort peu différents, on illustre ce point par l'évolution de ce critère en 1990/91. La figure 2 montre en effet une réduction de la puissance réduite en hiver (semaines 1 à 13 et 43 à 52) ainsi qu'une augmentation en été (semaines 14 à 42).

Enfin, on peut illustrer l'influence de la biénergie d'été sur le système

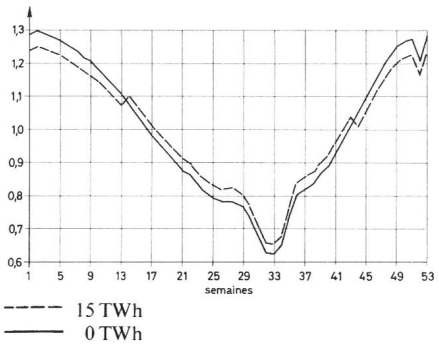

Fig. 2 Coefficient de modulation saisonnière selon les quantités de biénergie

électrique montrant la déformation de la monotone en 1990 pour deux hypothèses extrêmes de biénergie d'été (0–15 TWh) cf. figure 3.

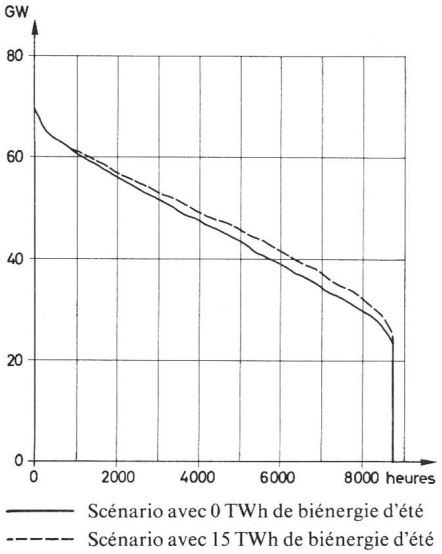

Fig. 3 Monotones de puissances année 1990/91

Cependant le développement de cet usage doit être maîtrisé pour ne pas amenuiser son intérêt. L'attention du producteur est attirée sur l'étalement nécessaire du signal tarifaire d'été afin de ne pas créer des phénomènes de pointe.

2.2 Cas de la biénergie de chauffage

Un usage de ce type entraîne une consommation en hiver. Son intérêt est de s'effacer totalement lorsque le producteur lance le signal tarifaire «effacement jour de pointe».

Le critère du facteur annuel de charge s'avère être, pour cet usage, un peu grossier. Néanmoins celui-ci se trouve être nettement amélioré grâce à la biénergie. Cependant, on remarque (cf. tab. II) que le facteur de charge s'améliore pour l'hypothèse centrale puis se dégrade légèrement. Ceci constitue un

Durée d'appel de la puissance maximum facteur annuel de charge Tableau II

	Durée d'appel de la puissance maximum en heures	Facteur annuel de charge
1990/91		
Scénarios[1])		
0 TWh	5297	0,605
16,8 TWh[2])	5463	0,624
30 TWh	5455	0,623
1995/96		
Scénarios[1])		
0 TWh	5222	0,596
26,2 TWh[2])	5421	0,619
40 TWh	5394	0,618

[1]) Les scénarios sont identifiés par la consommation de biénergie chauffage

[2]) Un des scénarios de travail d'E.D.F.

résultat important concernant le développement de la biénergie de chauffage. Cet usage est à développer harmonieusement avec le chauffage électrique direct dont il est complémentaire.

On peut montrer l'intérêt de la biénergie chauffage en simulant la courbe de charge nationale sur un grand nombre d'années climatiques réelles et en calculant le nombre d'années où l'appel de puissance maximum a été déplacé du fait de la biénergie par rapport à un scénario qui n'en comporte pas (cf. tab. III). Ces résultats montrent bien que dans les hypothèses extrêmes (30 et 40 TWh), on ne fait pratiquement que déplacer la pointe.

Pourcentage du nombre d'années au cours desquelles la pointe de puissance a été deplacée par rapport au scénario: 0 TWh de biénergie chauffage Tableau III

1990/91		1995/96	
Quantités de biénergie chauffage		Quantités de biénergie chauffage	
16,8 TWh	30 TWh	26,2 TWh	40 TWh
46%	82%	52%	88%

La biénergie chauffage s'efface pour des raisons techniques au voisinage d'une température extérieure de 0 °C. La figure 4 montre deux courbes de charge d'un jour de semaine d'hiver (année 1990/91) pour un scénario de consommation comprenant de la biénergie chauffage (16,8 TWh).

On remarque que pour une température inférieure à 0 °C (–2,1 °C), la

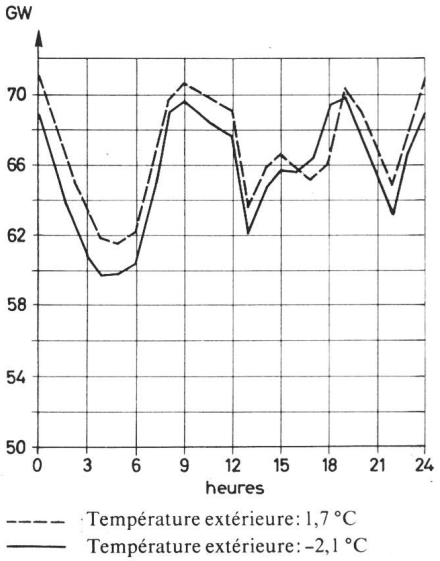

Fig. 4 Courbes de charge journalières année 1990/91, jour ouvrable d'hiver

courbe de charge journalière est presque toujours en dessous de celle d'un jour plus chaud (+1,7 °C).

3. Bilans de substitution

La biénergie vient en général se substituer aux produits pétroliers. Cependant la production de l'énergie électrique correspondante entraîne une consommation de combustibles (nucléaire, charbon, fuel).

Les tableaux IV et V donnent les bilans en combustibles de la production d'électricité supplémentaire (par différence entre deux scénarios) pour satisfaire les usages biénergie.

Bilans en énergies primaires
Biénergie d'été: 5 TWh en 1990/91; 15 TWh en 1995/96

Tableau VI

	1990/91			1995/96		
	Electricité 5 TWh	Produits pétroliers $\gamma = 1$ [1])	Produits pétroliers $\gamma = 2$ [1])	Electricité 15 TWh	Produits pétroliers $\gamma = 1$ [1])	Produits pétroliers $\gamma = 2$ [1])
Nucléaire	4,4 TWh	-	-	15 TWh	-	-
Charbon	0,13 Mtep ou 0,2 Mtec	-	-	0	-	-
Fuel	0	0,5 Mtep	1 Mtep	0	1,5 Mtep	3 Mtep

[1]) γ = coefficient de substitution

Biénergie chauffage: 16,8 TWh en 1990/91: 26,2 TWh en 1995/96

Tableau VII

	1990/91		1995/96	
	Electricité 16,8 TWh	Produits pétroliers $\gamma = 3{,}7$ [1])	Electricité 26,2 TWh	Produits pétroliers $\gamma = 3{,}7$ [1])
Nucléaire	7,6 TWh	-	25,2 TWh	-
Charbon	1,7 Mtep ou 2,6 Mtec	-	0,25 Mtep ou 0,37 Mtec	-
Fuel	0,34 Mtep	6,2 Mtep	0	9,7 Mtep

[1]) γ = coefficient de substitution

3.1 Bilan énergétique de la biénergie d'été

Un usage de cette nature peut être caractérisé par le gain de substitution correspondant (coefficient γ qui s'exprime en thermies*/kWh).

* 1 thermie (th) = 1000 kcal

Bilan de substitution (différence entre deux scénarios)
1990/91 parc de production fixe

Tableau IV

	Biénergie chauffage		Biénergie d'été	
Bilans en énergie	16,8*)-0 TWh [1])	30-0 TWh [1])	5-0 TWh [1])	15-0 TWh [1])
Nucléaire	45	45	88,5	84
Charbon	46	45	11,5	15
Fuel	9	10	0	1

*) Scénario de référence
[1]) Les scénarios sont différenciés par les consommations de biénergie

1995/96 parc de production en développement

Tableau V

	Biénergie chauffage		Biénergie d'été	
Bilans en énergie	26,2*)-0 TWh [1])	40-0 TWh [1])	10-0 TWh [1])	15-0 TWh [1])
Nucléaire	96	95	108	100
Charbon	4	5	-8**)	0
Fuel	0	0		

*) Scénario de référence
**) On déclasse 250 MW charbon
[1]) Les scénarios sont différenciés par la consommation de biénergie

Une substitution centralisée (chaudière électrique) présente un gain de substitution de 1 th/kWh, alors qu'une solution décentralisée (thermoplongeurs par exemple) conduit à un gain de substitution de 2 th/kWh.

On calcule le bilan en énergies primaires de ces deux types de substitution. Le tableau VI montre tout l'intérêt, au vu de ce critère, de développer un usage de cette nature. En 1990/91, on substitue du nucléaire et du charbon au pétrole, en 1995/96, le nucléaire évince en totalité le pétrole.

3.2 Bilan énergétique de la biénergie chauffage

On retient l'exemple le plus caractéristique qu'est l'utilisation de la pompe à chaleur. Le gain de substitution de cette technique est de 3,7 th/kWh.

Le tableau VII fait ressortir, pour cet usage, une substitution massive du nucléaire et, dans une moindre mesure, du charbon au pétrole.

4. Conclusion

L'intérêt du développement des usages biénergie pour le producteur est clair. Il faut cependant se garder de développer de manière anarchique de tels usages. En fait, ils ne sont intéressants à développer que parce qu'ils sont complémentaires d'autres usages. C'est donc une politique de développement harmonieux de l'ensemble des usages qu'il est nécessaire d'appliquer.